

UNIVERSIDAD DE CONCEPCION

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

Departamento Manejo de Bosques y Medio Ambiente



**CARACTERIZACION BIOMETRICA DE LAS MADERAS DE Picea obovata Ledeb.,
Chamaecyparis lawsoniana (A. Murray) Parlatore y Pinus strobus L. CRECIDAS EN EL
SECTOR LOS GUINDOS DE LA RESERVA FORESTAL DE MALLECO.**

Por

LUIS ALBERTO MORAGA VALENZUELA

**MEMORIA DE TITULO PRESENTADA
A LA FACULTAD DE CIENCIAS
FORESTALES DE LA UNIVERSIDAD
DE CONCEPCION PARA OPTAR AL
TITULO DE INGENIERO FORESTAL.**

CONCEPCION-CHILE

1995

UNIVERSIDAD DE CONCEPCION

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

Departamento Manejo de Bosques y Medio Ambiente

**CARACTERIZACION BIOMETRICA DE LAS MADERAS DE Picea obovata Ledeb.,
Chamaecyparis lawsoniana (A. Murray) Parlatore y Pinus strobus L. CRECIDAS EN
EL SECTOR LOS GUINDOS DE LA RESERVA FORESTAL DE MALLECO.**



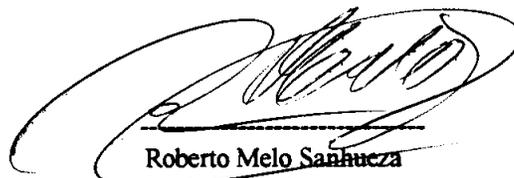
LUIS ALBERTO MORAGA VALENZUELA

**MEMORIA DE TITULO PRESENTADA
A LA FACULTAD DE CIENCIAS
FORESTALES DE LA UNIVERSIDAD
DE CONCEPCION PARA OPTAR AL
TITULO DE INGENIERO FORESTAL.**

**CONCEPCION
1995**

CARACTERIZACION BIOMETRICA DE LA MADERA DE Picea obovata Ledeb., Chamaecyparis lawsoniana (A. Murray) Parlatore y Pinus strobus L. CRECIDAS EN EL SECTOR LOS GUINDOS DE LA RESERVA FORESTAL DE MALLECO.

Profesor Asesor



Roberto Melo Sanhueza
Profesor Titular
Ingeniero Civil Químico

Director Departamento
de Manejo de Bosques y
Medio Ambiente



Fernando Drake Aranda
Profesor Asociado
Ingeniero Forestal

Decano Facultad
de Ciencias Forestales



Dr. Jaime Millán Herrera
Profesor Titular
Ingeniero Forestal

DEDICATORIA.



A Alda, mi Madre... que está en los cielos

A Alfredo, mi Padre... que está en la tierra

Al Padre-Madre de todos ...que está en todas partes

... por que siempre están conmigo.

AGRADECIMIENTOS.

He dejado esta página de mi trabajo para el fin de la jornada, por ser, quizá, la que más necesite del retiro sencillo y de la reflexión pausada, al cabo de la cual espera la palabra que mejor expresa mi sentir con todos aquellos que permitieron que este trabajo fuera, por fin, una realidad...gracias.

Al Señor Roberto Melo Sanhueza ... gracias, por su infinita paciencia y comprensión, por su voluntad y generosidad, por su experiencia y capacidad; virtudes todas que plasman las páginas de este escrito.

Al Señor Astoldo Solís ... gracias, por su desinteresada ayuda, por su vocación pedagógica y su extraordinaria solidaridad, virtudes todas que adorna su humilde y sencillo espíritu.

A la Señora Cecilia Serra ... gracias, por su comprensión, paciencia y, sobre todo, por su grata y amable manera de ayudar.

A todos aquellos que laboran, estudian y trabajan en el Laboratorio de Productos Forestales, que; como una pequeña lamparita, ilumina una de las rutas de la investigación forestal en Chile.

A mis Amigos, con los que he compartido la hermosa experiencia de estudiar en la Universidad de Concepción.

A mi Familia, por su amor, preocupación y permanente comprensión.

INDICE DE MATERIAS

<i>CAPITULO</i>	<i>PAGINA</i>
I	INTRODUCCION..... 1
II	REVISION BIBLIOGRAFICA..... 3
2.1	Monografía de las especies bajo estudio..... 3
2.1.1	<u>Picea obovata</u> Ledeb..... 3
2.1.2	<u>Chamaecyparis lawsoniana</u> (A. Murray) Parlatore..... 5
2.1.3	<u>Pinus strobus</u> L..... 9
2.2	Peso específico de la madera..... 11
2.2.1	Concepto de peso específico..... 11
2.2.2	Variabilidad del peso específico..... 17
2.2.2.1	Variabilidad dentro del árbol..... 17
2.2.2.2	Variabilidad entre árboles del rodal..... 34
2.2.2.3	Variabilidad entre rodales y localidades..... 35
2.2.3	Herencia del peso específico..... 38
2.2.4	Influencia del medio sobre el peso específico..... 40
2.3	Longitud de traqueida de la madera..... 46
2.3.1	Concepto de longitud de traqueida..... 46
2.3.2	Variabilidad de la longitud de traqueida..... 47
2.3.2.1	Variabilidad dentro del árbol..... 47
2.3.2.2	Variabilidad entre árboles del rodal..... 54
2.3.2.3	Variabilidad entre rodales y localidades..... 56
2.3.3	Herencia de la longitud de traqueida..... 57
2.3.4	Influencia del medio sobre la longitud de traqueida..... 58
2.4	Coarseness de madera..... 61
2.4.1	Concepto de coarseness..... 61
2.4.2	Variabilidad del coarseness en el árbol..... 64
2.4.3	Influencia del medio sobre el coarseness de madera..... 66
2.4.4	Coarseness en la fabricación del papel..... 68

III	ANTECEDENTES GENERALES, MATERIALES Y METODOLOGIA	70
3.1	Antecedentes Generales.....	70
3.1.1	Descripción del área de estudio.....	70
3.1.2	Descripción de los rodales en estudio.....	70
3.2	Materiales.....	71
3.2.1	Material de ensayo y experimentación.....	71
3.3	Metodología.....	72
3.3.1	Tipo de muestreo y selección de los árboles.....	72
3.3.2	Obtención de las muestras para experimentación.....	73
3.3.3	Determinación del peso específico de la madera.....	75
3.3.4	Determinación de la longitud de traqueida y del coarseness de madera	76
3.3.5	Análisis de los datos.....	76
IV	RESULTADOS Y DISCUSION.....	78
4.1	Valores promedios ponderados.....	78
4.2	Peso específico a volumen saturado.....	78
4.2.1	Tendencias del peso específico en relación a la altura del árbol.....	78
4.2.2	Tendencias del peso específico en relación a la edad fisiológica del árbol.....	97
4.3	Longitud de traqueida.....	105
4.3.1	Tendencias de la longitud de traqueida en relación a la altura del árbol.....	106
4.3.2	Tendencias de la longitud de traqueida en relación a la edad fisiológica del árbol.....	110
4.4	Coarseness de madera.....	115

<i>CAPITULO</i>		<i>PAGINA</i>
4.4.1	Tendencia del coarseness de madera en relación a la altura del arbol.....	116
4.4.2	Tendencia del coarseness de madera en relación a la edad fisiológica del árbol.....	120
V	CONCLUSIONES.....	126
VI	RESUMEN Y SUMMARY.....	128
6.1	Resumen.....	128
6.2	Summary.....	129
VII	BIBLIOGRAFIA.....	130
VIII	APENDICE.....	138



INDICE DE TABLAS

TABLA N ^o		PAGINA
	<i><u>En el texto</u></i>	
1	Información dasométrica básica.....	71
2	Información dasométrica de los árboles muestreados.....	72
3	Promedio ponderado según atributo y especie.....	78
4	Peso específico promedio ponderado a volumen saturado en relación a la altura del árbol según especie.....	79
5	Peso específico promedio ponderado a volumen saturado en relación a la edad fisiológica del árbol (número de anillos desde la médula) según especie.....	97
6	Promedio ponderado de longitud de traqueida en relación a la altura del árbol según especie.....	106
7	Promedio ponderado de longitud de traqueida en relación a la edad fisiológica del árbol (número de anillos desde la médula) según especie.....	111
8	Promedio ponderado de coarseness de madera en relación a la altura del árbol según especie.....	116
9	Promedio ponderado de coarseness de madera en relación a la edad fisiológica del árbol (número de anillos desde la médula) según especie.....	121
	<i><u>En el Apéndice</u></i>	
1A	Valores de diámetro según altura en árboles muestreados..	138
2A	Volumen individual por árbol y total por especie.....	138
3A	Peso específico promedio ponderado a volumen saturado por árbol y por especie.....	139
4A	Peso específico promedio ponderado a volumen saturado árbol N ^o 1 <u>Picea obovata</u>	139
5A	Peso específico promedio ponderado a volumen saturado árbol N ^o 2 <u>Picea obovata</u>	140

TABLA N^o

PAGINA

6A	Peso específico promedio ponderado a volumen saturado árbol N ^o 3 <u>Picea obovata</u>	140
7A	Peso específico promedio ponderado a volumen saturado árbol N ^o 1 <u>Chamaecyparis lawsoniana</u>	141
8A	Peso específico promedio ponderado a volumen saturado árbol N ^o 2 <u>Chamaecyparis lawsoniana</u>	141
9A	Peso específico promedio ponderado a volumen saturado árbol N ^o 3 <u>Chamaecyparis lawsoniana</u>	142
10A	Peso específico promedio ponderado a volumen saturado árbol N ^o 1 <u>Pinus strobus</u>	143
11A	Peso específico promedio ponderado a volumen saturado árbol N ^o 2 <u>Pinus strobus</u>	144
12A	Peso específico promedio ponderado a volumen saturado árbol N ^o 3 <u>Pinus strobus</u>	145
13A	Peso específico promedio ponderado a volumen saturado según altura <u>Picea obovata</u>	146
14A	Peso específico promedio ponderado a volumen saturado según altura <u>Chamaecyparis lawsoniana</u>	148
15A	Peso específico promedio ponderado a volumen saturado según altura <u>Pinus strobus</u>	150
16A	Peso específico promedio ponderado a volumen saturado según número de anillos desde la médula <u>Picea obovata</u>	152
17A	Peso específico promedio ponderado a volumen saturado según número de anillos desde la médula <u>Chamaecyparis lawsoniana</u>	154
18A	Peso específico promedio ponderado a volumen saturado según número de anillos desde la médula <u>Pinus strobus</u>	157
19A	Longitud de traqueida promedio ponderado árbol N ^o 1 <u>Picea obovata</u>	160
20A	Longitud de traqueida promedio ponderado árbol N ^o 2 <u>Chamaecyparis lawsoniana</u>	160

TABLA N^o

PAGINA

21A	Longitud de traqueida promedio ponderado árbol N ^o 3 <u>Pinus strobus</u>	161
22A	Coarseness de madera promedio ponderado árbol N ^o 1 <u>Picea obovata</u>	161
23A	Coarseness de madera promedio ponderado árbol N ^o 2 <u>Chamaecyparis lawsoniana</u>	162
24A	Coarseness de madera promedio ponderado árbol N ^o 3 <u>Pinus strobus</u>	162



INDICE DE FIGURAS

FIGURA N ^o		PAGINA
	<u>En el texto</u>	
1	Obtención de rodelas a distintas alturas en el árbol.....	74
2	Obtención de probetas para ensayos a partir de las rodelas.	74
3	Tendencia del peso específico promedio ponderado a volumen saturado en relación a la altura del árbol en la madera de <u>Picea obovata</u> Ledeb. con referencia a los rangos de variación para cada altura según ejemplar muestreado.....	80
4	Tendencia del peso específico promedio ponderado a volumen saturado de los incrementos según número de anillos desde la médula en relación a la altura del árbol en la madera de <u>Picea obovata</u> Ledeb.....	81
5	Tendencia del peso específico promedio ponderado a volumen saturado de los incrementos según número de anillos desde la médula en relación a la altura del árbol N ^o 1 de <u>Picea obovata</u> Ledeb.....	82
6	Tendencia del peso específico promedio ponderado a volumen saturado de los incrementos según número de anillos desde la médula en relación a la altura del árbol N ^o 2 de <u>Picea obovata</u> Ledeb.....	83
7	Tendencia del peso específico promedio ponderado a volumen saturado de los incrementos según número de anillos desde la médula en relación a la altura del árbol N ^o 3 de <u>Picea obovata</u> Ledeb.....	85
8	Tendencia del peso específico promedio ponderado a volumen saturado en relación a la altura del árbol en la madera de <u>Chamaecyparis lawsoniana</u> (A. Murray) Parlatore con referencia a los rangos de variación para cada altura según ejemplar muestreado.....	86

9	Tendencia del peso específico promedio ponderado a volumen saturado de los incrementos según número de anillos desde la médula en relación a la altura del árbol en la madera de <u>Chamaecyparis lawsoniana</u> (A. Murray) Parlatores.....	87
10	Tendencia del peso específico promedio ponderado a volumen saturado de los incrementos según número de anillos desde la médula en relación a la altura del árbol N ^o 1 de <u>Chamaecyparis lawsoniana</u> (A. Murray) Parlatores.....	88
11	Tendencia del peso específico promedio ponderado a volumen saturado de los incrementos según número de anillos desde la médula en relación a la altura del árbol N ^o 2 de <u>Chamaecyparis lawsoniana</u> (A. Murray) Parlatores.....	89
12	Tendencia del peso específico promedio ponderado a volumen saturado de los incrementos según número de anillos desde la médula en relación a la altura del árbol N ^o 3 de <u>Chamaecyparis lawsoniana</u> (A. Murray) Parlatores.....	91
13	Tendencia del peso específico promedio ponderado a volumen saturado en relación a la altura del árbol en la madera de <u>Pinus strobus</u> L. con referencia a los rangos de variación para cada altura según ejemplar muestreado.....	92
14	Tendencia del peso específico promedio ponderado a volumen saturado de los incrementos según número de anillos desde la médula en relación a la altura del árbol en la madera de <u>Pinus strobus</u> L.....	93
15	Tendencia del peso específico promedio ponderado a volumen saturado de los incrementos según número de anillos desde la médula en relación a la altura del árbol N ^o 1 de <u>Pinus strobus</u> L.....	94
16	Tendencia del peso específico promedio ponderado a volumen saturado de los incrementos según número de anillos desde la médula en relación a la altura del árbol N ^o 2 de <u>Pinus strobus</u> L.....	95

17	Tendencia del peso específico promedio ponderado a volumen saturado de los incrementos según número de anillos desde la médula en relación a la altura del árbol N ^o 3 de <u>Pinus strobus</u> L.....	96
18	Tendencia del peso específico promedio ponderado a volumen saturado de los incrementos en relación al número de anillos desde la médula según especie	98
19	Tendencia del peso específico promedio ponderado a volumen saturado de los incrementos en relación al número de anillos desde la médula de acuerdo a la altura del árbol en la especie <u>Picea obovata</u> Ledeb.....	99
20	Tendencia del peso específico promedio ponderado a volumen saturado de los incrementos en relación al número de anillos desde la médula de acuerdo a la altura del árbol en la especie <u>Chamaecyparis lawsoniana</u> (A. Murray) Parlatores.....	101
21	Tendencia del peso específico promedio ponderado a volumen saturado de los incrementos en relación al número de anillos desde la médula de acuerdo a la altura del árbol en la especie <u>Pinus strobus</u> L.....	103
22	Tendencia del promedio ponderado de la longitud de traqueida en relación a la altura del árbol según ejemplar muestreado en cada especie.....	107
23	Tendencia del promedio ponderado de la longitud de traqueida en relación a la altura del árbol de <u>Picea obovata</u> Ledeb. según sectores intraincrementales equivalentes.....	108
24	Tendencia del promedio ponderado de la longitud de traqueida en relación a la altura del árbol de <u>Chamaecyparis lawsoniana</u> (A. Murray) Parlatores según sectores intraincrementales equivalentes.....	109
25	Tendencia del promedio ponderado de la longitud de traqueida en relación a la altura del árbol de <u>Pinus strobus</u> L. según sectores intraincrementales equivalentes.....	110

26	Tendencia del promedio ponderado de la longitud de traqueida en relación a la edad fisiológica del árbol (número de anillos desde la médula) según ejemplar muestreado en cada especie.....	111
27	Tendencia del promedio ponderado de la longitud de traqueida en relación a la edad fisiológica del árbol (número de anillos desde la médula) según tres niveles de altura en el ejemplar muestreado de <u>Picea obovata</u> Ledeb...	113
28	Tendencia del promedio ponderado de la longitud de traqueida en relación a la edad fisiológica del árbol (número de anillos desde la médula) según tres niveles de altura en el ejemplar muestreado de <u>Chamaecypris lawsoniana</u> (A. Murray) Parlatores.....	114
29	Tendencia del promedio ponderado de la longitud de traqueida en relación a la edad fisiológica del árbol (número de anillos desde la médula) según tres niveles de altura en el ejemplar muestreado de <u>Pinus strobus</u> L.....	115
30	Tendencia del promedio ponderado de coarseness de madera en relación a la altura del árbol según ejemplar muestreado en cada especie.....	116
31	Tendencia del promedio ponderado de coarseness de madera en relación a la altura del árbol de <u>Picea obovata</u> Ledeb. según sectores intraincrementales equivalentes.....	117
32	Tendencia del promedio ponderado de coarseness de madera en relación a la altura del árbol de <u>Chamaecypris lawsoniana</u> (A. Murray) Parlatores según sectores intraincrementales equivalentes.....	118
33	Tendencia del promedio ponderado de coarseness de madera relación a la altura del árbol de <u>Pinus strobus</u> L. según sectores intraincrementales equivalentes.....	119

34	Tendencia del promedio ponderado de coarseness de madera en relación a la edad fisiológica del árbol (número de anillos desde la médula) según ejemplar muestreado en cada especie.....	121
35	Tendencia del promedio ponderado de coarseness de madera en relación a la edad fisiológica del árbol (número de anillos desde la médula) según tres niveles de altura en el ejemplar muestreado de <u>Picea obovata</u> Ledeb.....	122
36	Tendencia del promedio ponderado de coarseness de madera en relación a la edad fisiológica del árbol (número de anillos desde la médula) según tres niveles de altura en el ejemplar muestreado de <u>Chamaecyparis lawsoniana</u> (A. Murray) Parlatores.....	123
37	Tendencia del promedio ponderado de coarseness de madera en relación a la edad fisiológica del árbol (número de anillos desde la médula) según tres niveles de altura en el ejemplar muestreado de <u>Pinus strobus</u> L.....	124

I INTRODUCCION.

En los últimos años el Sector Forestal cada vez con mayor fuerza está siendo considerado dentro de las políticas nacionales como un importante agente de desarrollo dada su potencialidad y su posición marginal en el mercado internacional (CONAF-INFOR, 1994), conformándose como uno de los más dinámicos del país; al punto que las divisas generadas por las exportaciones del sector representan casi un 10% del total nacional, siendo, a su vez, la fuente de ingresos para 100 mil personas (Cerde, 1993).

Las excelentes perspectivas de crecimiento diagnosticadas para la actividad forestal obliga al país a abordar con especial fuerza ciertas tareas que serán determinantes para el desarrollo de la misma (CONAF-INFOR, 1994). En especial se reconoce la necesidad de aumentar la diversificación, la productividad y la eficiencia del sector, de modo de multiplicar la oferta, diversidad y el valor agregado de los productos forestales; reduciendo, al mismo tiempo, los costos de producción (Cerde, 1993).

En este plano se sitúa el Programa de Diversificación Forestal impulsado por el Ministerio de Agricultura a través de la Corporación Nacional Forestal y cuyo fin último es preparar al país para enfrentar en mejor forma una mayor inserción en los mercados forestales internacionales. Al respecto, el Director Ejecutivo de la Corporación, José Antonio Prado, destaca que la propuesta de CONAF es innovar, porque: "además de pino y eucalyptus -que han demostrado ser nobles especies en nuestros deteriorados suelos- hay que incluir otras que nos permitan agregar diversidad a nuestra producción y a nuestro paisaje, haciendo un mejor uso de las potencialidades que nos ofrece nuestro variado territorio" (Chile Forestal, Mayo-1994).

Desde este punto de vista, la búsqueda de nuevas especies que resulten atractivas como fuente de materia prima para la industria forestal parece quedar plenamente justificada, y es precisamente en este ámbito donde se sitúa el estudio que se presenta, cuyo objetivo

principal es la caracterización biométrica de la madera de las especies Picea obovata Ledeb., Chamaecyparis lawsoniana (A.Murray) Parlatore y Pinus strobus L., de modo de generar información que sea potencialmente útil para propender a la diversificación de las plantaciones forestales en Chile y para apoyar la toma de decisiones respecto del manejo del recurso que se crea y de la utilización del existente.

En relación a los antecedentes sobre crecimiento y desarrollo o características mecánicas, físicas y químicas de las especies evaluadas, así como sobre su aprovechamiento industrial para la fabricación de pulpa para papel para ejemplares creciendo en Chile, puede decirse que -en el primer caso- ellos son muy escasos y en el ámbito papelerero, prácticamente nulos.

En este estudio se determinó valores promedios y tendencias de las propiedades: Peso específico a volumen saturado, Longitud de traqueida y Coarseness de madera de las especies mencionadas.



II REVISION BIBLIOGRAFICA.

Este capítulo tiene por finalidad presentar la información recopilada de la literatura sobre los conceptos y experiencias que tienen relación con el tema analizado. De esta forma se ha estimado conveniente distinguir las secciones que a continuación se exponen.

2.1 Monografía de las especies bajo estudio.

2.1.1 Picea obovata Ledeb. /Picea obovata Link. var. obovata (Ledeb.) Blytt, Picea abies (L.) Karst. var. obovata (Ledeb.) Voss, Picea abies f. obovata (Ledeb.) Lindm., Picea abies var. obovata (Ledeb.) Voss, Picea abies ssp. obovata (Led.) Hultén/ Picea Siberiana, Siberian Spruce.

Esta especie es -desde el punto de vista de la taxonomía- relativamente cercana a la especie Picea abies (L.) Karst. y algunos autores estiman que es una subespecie de ella (Vidakovic, 1991). De acuerdo a Schmidt-Vogt (1974 y 1974a), citado por la fuente precedente, después de la época glacial, Picea abies (L.) Karst. originó a Picea obovata Ledeb. como una raza climática y variedad geográfica diferente.

Originaria del Norte de Europa, Escandinavia y Siberia (Rodríguez y Rodríguez, 1994), se encuentra en la actualidad ampliamente distribuida (Vidakovic, 1991). En el Oeste de Escandinavia y Norte de Rusia, su rango se confunde con el de Norway Spruce (Picea abies (L.) Karst.); lo que ha llevado en las zonas de contacto al desarrollo de abundantes híbridos. En la parte Europea de la ex-Unión Soviética, Siberian Spruce se halla distribuida desde los 64° a 67° de latitud, en todo el Oeste de Siberia y parte del Este de la misma región, a partir de la cual se extiende desde el mar de Ohot y la Provincia de Usurian hacia el Norte.

En términos ecológicos, sus requerimientos son similares a los de *Picea Noruega*, siendo a la vez más tolerante a climas y factores ambientales adversos (Vidakovic, 1991); como son las condiciones de frío invernal o las temperaturas altas de verano, así como temperaturas elevadas en suelos arenosos, en los que suelen alcanzarse los 60°C y 70°C (Rodríguez y Rodríguez, 1994). Prosiguen estos autores señalando que la especie es poco exigente en calidad y humedad de suelos.

Siendo una conífera tolerante a la sombra; presenta una excelente regeneración natural gracias a sus conos xerotinos capaces de dispersar en forma intermitente las semillas y a la alta capacidad germinativa de estas últimas, valor que alcanza al 80% (Rodríguez y Rodríguez, 1994).

Según informa Vidakovic (1991), el crecimiento de la especie es más lento que el de Norway Spruce, aunque, de acuerdo a Rodríguez y Rodríguez (1994), en suelos que presentan deficiencias nutricionales su crecimiento es superior al de muchas otras; factor que ha favorecido en sus países de origen el uso industrial de la madera (resinación, cajonería y construcción). Finalizan estos investigadores señalando que dichos árboles pueden alcanzar los 30 m de altura y 2 m de diámetro, presentando una típica copa aguda piramidal.

En virtud a la íntima relación taxonómica que -de acuerdo a la literatura-, existe entre la especie estudiada y *Picea abies* (L.) Karst., el autor ha querido agregar algunas referencias respecto de esta última, que pudieran servir para entender mejor el problema que nos ocupa.

En relación a los elementos de la madera, cerca del 94% del xilema fustal de *Picea abies* (L.) Karst. consiste en traqueidas longitudinales, el resto comprende, frecuentemente, a rayos celulares (Ollinmaa (1959); Petric y Scukanek (1973), citados por Kärenlampi, 1992a). Las traqueidas alcanzan longitudes promedios de 3,5 mm (Rydholm, 1965), con valores extremos entre 1 mm a 6 mm y con anchos promedios cercanos al 1% de tales longitudes (Helander (1933); Hägglund *et als.* (1934); Bruun y Slungaard (1959);

Schultze-Dewitz (1959); Atmer y Thörnqvist (1982), citados por Kärenlampi, 1992a), o -como señala más detalladamente Rydholm (1965)- con 36μ de ancho, para un rango de 24μ a 59μ . El mismo investigador informa; dentro de un rango de $1,3 \mu$ a $13,0 \mu$, un valor medio de espesor de pared de 6μ , alcanzando la pared celular un 33% del volumen total. Tortorelli (1943) señala las siguientes dimensiones medias de traqueidas para la especie: 3,0 mm a 4,5 mm de longitud, 20μ de ancho y una relación longitud/diámetro de 185; calificando a su vez, como blanda la madera de esta conífera nor-europea, al tiempo que la describe con un duramen blanco amarillento y una albura algo más clara y con una escasa existencia de canales resiníferos.

Respecto al peso específico, Rydholm (1965) informa para la especie un valor promedio de 0,410. Por su parte, Olesen (1976), citado por Kärenlampi (1992a), ha encontrado en madera de verano, densidades promedios de 400 kg/m^3 a 700 kg/m^3 y de 200 kg/m^3 a 350 kg/m^3 en madera de primavera. Johansson (1939 y 1940) y Wahlberg (1992), citados por la misma fuente, señalan promedios de 600 kg/m^3 en madera tardía y cerca de 300 kg/m^3 en madera temprana. Danborg (1990) a su vez, ha registrado la máxima densidad dentro de anillos de crecimiento individuales, con valores promedios que alcanzan los 750 kg/m^3 a 850 kg/m^3 , situándose la mínima densidad, en el rango promedio de 250 kg/m^3 a 350 kg/m^3 ; siendo tales valores, aproximadamente una fracción del 5% del total de anillos de crecimiento. Finalmente, Saranpää (1990), citado por Kärenlampi (1992a), afirma que existe una considerable variación entre las estaciones de desarrollo.

2.1.2 Chamaecyparis lawsoniana (A. Murray) Parlatore /Chamaecyparis boursieri Carr./ Ciprés de Lawson, Cedro de Puerto Orford, Cedro de Oregón, Lawson's Cypress, Lawson False Cypress, Port-Orford Cedar, Lawsons sheinzypress.

Nativo de las Montañas Siskiyou y Klamath del Nor-Oeste de California y Sur-Oeste de Oregón, se encuentra restringido en una faja de 210 km de largo en la costa del Pacífico:

desde Coos Bay Oregon hasta Mad River en California y a no más de 16 km a 64 km de la costa; desde el nivel del mar hasta 1500 m de altitud (USDA Forest Service, 1965; Elgueta et als., 1971; Martínez, 1979; Savill, 1991; Vidakovic, 1991). Savill (1991) señala que la especie en su hábitat nativo se localiza principalmente entre 1200 m a 1800 m s.n.m. y hasta 65 km tierra adentro, en las laderas costeras occidentales, aunque preferentemente entre 5 km y 24 km de la costa.

En su área de dispersión, el clima se caracteriza por inviernos húmedos y veranos secos. La precipitación anual varía entre 1670 mm y 1780 mm en los faldeos de la costa y hasta 2550 mm al interior, con neblinas frecuentes en verano y temperaturas muy uniformes; desde 15,5°C a 18,0°C en la estación estival y entre 6,0°C a 7,5°C en invierno (Elgueta et als., 1971). En la zona costera la nieve caída alcanza los 5 cm de espesor, en tanto que hacia las mayores altitudes, supera los 250 cm (USDA Forest Service, 1965). Siendo una especie tolerante a las bajas temperaturas (-25°C) y muy sensible a la sequía, destaca, sin embargo, por su gran tolerancia a condiciones de falta de agua; desarrollándose en su hábitat natural mejor en condiciones de alta humedad atmosférica y abundante precipitación (Rodríguez y Rodríguez, 1994; Savill, 1991; Vidakovic, 1991). Siendo una especie no muy exigente en calidad de suelo (por lo que es posible encontrarla en una gran variedad de éstos), es más frecuente en suelos de textura media; creciendo bien y con buen desarrollo en los limos arenosos y arcillosos de la Cordillera de la Costa (Elgueta et als., 1971; Vidakovic, 1991). En términos generales, prefiere los suelos frescos, profundos y fértiles, siendo inadecuado sobre turberas o suelos áridos de tundra; creciéndo, por otro lado, lentamente en suelos pesados arcillosos. Tiene éxito también en suelos podzólicos y aun alcalinos humedecidos (Savill, 1991; Vidakovic, 1991; Rodríguez y Rodríguez, 1994).

Se caracteriza por su copa cónica muy alta, delgada y de extremo péndulo (Vidakovic, 1991; Rodríguez y Rodríguez, 1994). Agrega el primer autor; que gracias a su bien desarrollado sistema radicular es capaz de resistir fuertes ventoleras.

Siendo una especie tolerante a la sombra, se regenera naturalmente cuando el piso del bosque se remueve y penetra la luz solar; propagándose fácilmente en vivero a través de semillas, estacas e injertos (Savill, 1991; Vidakovic, 1991; Rodríguez y Rodríguez, 1994).

Puede crecer a pleno sol y en condiciones de moderada sombra, presentándose en su lugar de origen asociado a otras coníferas, entre las cuales se encuentran: Tsuga heterophylla, Tsuga plicata y Abies grandis ; conformando de este modo rodales mixtos naturales en lo que llega a constituir cerca del 25% del total (USDA Forest Service, 1965; Savill, 1991; Vidakovic, 1991). En ellos mantiene una posición de dominancia hasta una edad aproximada de 25 años, posteriormente es sobrepasado por sus especies acompañantes (entre ellas Pino Oregón), produciéndose de esta forma, reducciones en sus tasas de crecimiento (USDA Forest Service, 1965). En plantaciones la forma fustal puede variar ampliamente; desde troncos perfectamente rectos hasta fustes fuertemente ramificados; siendo la poda natural extremadamente lenta (Savill, 1991).

La especie es calificada como de buen desarrollo, pudiendo ser frecuente encontrar árboles maduros de 120 cm a 180 cm de d.a.p. y de 60 m de altura, con un crecimiento medio de 27,2 cm a los cien años. Los incrementos son usualmente moderados en árboles jóvenes; aunque pueden mejorar con posterioridad, además, gracias a su longevidad (la que la puede llevar a superar los quinientos años de vida), la especie es capaz de responder a los raleos hasta avanzada edad (USDA Forest Service, 1965; Elgueta et als., 1971; Vidakovic, 1991). En la X Región de Chile, Wrann y Barros (1980) informan que una plantación de once años, con una densidad de 2266 árboles/ha y un área basal de 43,0 m²/ha, presenta un d.a.p. de 15,5 cm y una altura de 6,4 m en el árbol de área basal media. Por otro lado, Mikuletic (1962), citado por Vidakovic (1991), informa que plantaciones experimentales en Yugoslavia con edades de 40 años; exhiben incrementos corrientes de 23,47 m³/ha e incrementos medios de 17,46 m³/ha.

Ciprés de Lawson presenta una madera liviana, blanco amarillenta, muy durable, fácil de trabajar, de uso en interiores, construcción de embarcaciones y mueblería, como también

con fines ornamentales (Elgueta *et als.*, 1971; Martínez, 1979). Por otra parte, Savill (1991), mencionando el blanco amarillo de su madera, la describe también como castaño clara y en la que difícilmente se distingue la albura del duramen. Agrega la fuente citada, la característica textura lisa del leño, su grano recto, la alta resistencia a la pudrición, la buena estabilidad y lo fácilmente trabajable de la madera. Finalmente menciona su agradable aroma; aspecto que también es reconocido por Vidakovic (1991); el que la describe como una madera dura y muy valiosa.

A diferencia de muchas coníferas, la especie es resistente a la contaminación atmosférica con humo y polvo, siendo una razón del por qué se ha preferido para cerco vivo y en parques y jardines públicos. Además es relativamente resistente a las enfermedades y ataque de insectos, aunque, sin embargo, los árboles jóvenes son seriamente dañados por el fuego (Savill, 1991; Vidakovic, 1991).

De gran aplicación en la industria de la celulosa en su país de origen (Bustamante y Serfaty, 1970). En el texto "Atlas de Fibras para Pasta de Celulosa", II Parte, Volumen Primero, de los mismos autores; se presenta una descripción de los elementos celulares, así como un estudio biométrico de las traqueidas. Estos investigadores en su descripción señalan que las traqueidas horizontales están normalmente ausentes, en tanto que las verticales de primavera son anchas, de pared estrecha, con grandes punteaduras areoladas uniseriadas y a veces biseriadas, con extremidades irregulares; desde fusiformes a romas. Las traqueidas de otoño son estrechas, de paredes gruesas y con pequeñas punteaduras areoladas. Finalmente, los antecedentes biométricos señalados por la fuente, sitúan la longitud de traqueidas entre 5,0 mm y 1,0 mm, con promedios de 3,3 mm, anchos celulares entre 56 μ y 24 μ , con promedios de 38 μ y un espesor de pared de 4,0 μ y con una proporción de 21%. Por último, la relación longitud/anchura alcanza un valor de 86,8. Por otro lado, Brown *et als.* (1949) señalan un valor máximo de diámetro tangencial equivalente a 50 μ y un rango de 35 μ a 40 μ , siendo a su vez, el largo de traqueida de 3,18 mm.

En relación a la densidad de la madera, Savill (1991) informa un valor promedio de 500 kg/m³ a un contenido de humedad de 15%.

2.1.3 Pinus strobus L. /Pinus alba var. canadensis Prov., Pinus canadensis var. quinquefolia Du Hamel, Pinus tenuifolia Salisb./ Pino canadiense, Pino Blanco del Este, White Pine, Eastern White Pine, Northern White Pine, Yellow Pine, Weymouth Pine.

Se encuentra en el Sur de Canadá, desde el Sur-Este de Manitoba a Newfoundland; por todos los estados del Norte y Este de los EE.UU. de Norteamérica, desde Minnesota y por el Nor-Este de Iowa hasta la costa atlántica, extendiéndose al Sur por los montes Apalaches hasta el Norte de Georgia (Elgueta et als., 1971). También existe una forma nativa en el Sur-Este de México y Guatemala (Martínez, 1979; Savill, 1991).

Prospera en climas frescos y húmedos, con temperaturas promedios de verano entre 17,0°C a 22,5°C y una precipitación anual es de 500 mm (Norte de Minnesota) y 2000 mm (Nor-Oeste de Georgia) (Elgueta et als., 1971; Savill, 1991). Se distribuye, por otro lado, entre 350 y 1200 m s.n.m. (Martínez, 1979), pero según Vidakovic (1991), en altitud se presenta en un rango que va desde el nivel del mar hasta los 1500 m; agregando que en su zona de procedencia, se desarrolla sobre suelos ácidos y arcillosos húmedos.

La propagación por estacas depende de la edad del árbol; tomadas desde individuos jóvenes, enraízan en forma relativamente fácil en vivero; en tanto, estacas tomadas desde individuos sobre los 15 años de edad, difícilmente prosperan (Vidakovic, 1991). Por otra parte; Farrar y McJannet (1959), citados por este autor, señalan que ramas tratadas con estimulantes, eventualmente permitirían su propagación vegetativa

Savill (1991) informa que como muchos de los pinos de cinco acículas, en Gran Bretaña la especie es atacada por el hongo Cronartium ribicola, razón por lo cual no ha prosperado en el Reino Unido. Esta dificultad biológica también es reconocida por Vidakovic (1991).

En estado natural frecuentemente forma rodales mixtos, especialmente con Pinus resinosa, Pinus banksiana, Abies balsamea, Picea rubens, Picea glauca, Betula papyrifera y otras; caracterizándose además, por su copa anchamente cónica, la que es amplia e irregular en individuos viejos (Vidakovic, 1991; Rodríguez y Rodríguez, 1994).

Su rápido crecimiento ha permitido cultivarla en plantaciones, en las que puede alcanzar alturas entre 25 m a 40 m y diámetros de 60 cm a 110 cm e, incluso, hasta 1,3 m (Martínez, 1979; Vidakovic, 1991; Rodríguez y Rodríguez, 1994). Vidakovic (1991) señala que estos árboles usualmente desarrollan alturas entre 20 m y 30 m; pudiendo los individuos viejos alcanzar alturas sobre 50 m. Kriebel (1971b-1978), citado por esta fuente, recuerda que el crecimiento en plantaciones varía de acuerdo con la procedencia y localidad, lo que hace que el incremento por ha varíe igualmente en forma importante. Informa además este autor, que en una zona de EE.UU. de Norteamérica -bajo óptimas condiciones-, se ha registrado un incremento de 22 m³/ha, equivalente a 770 m³/ha en rotaciones de 35 años.

La madera es liviana, blanda, fácil de trabajar y usada para múltiples propósitos; tales como embarcaciones, construcciones y postes, siendo al mismo tiempo, resistente a la pudrición (Elgueta et als., 1971; Vidakovic, 1991; Rodríguez y Rodríguez, 1994).

Casey (1966) determinó para la especie un valor promedio de densidad (peso seco/volumen verde) de 336,38 kg/m³. Por su parte, Saucier (1972) trabajando con árboles de 48 años de edad y 39,6 cm de d.a.p. del Sur-Este de Estados Unidos de Norteamérica, informa un valor de peso específico de 0,35 y un rango para el mismo de 0,25 a 0,54. Este promedio está muy cercano al valor de 0,34 que entrega como densidad básica Rydholm (1965). En tanto, a diferencia de los valores medios anteriores, Savill (1991) informa un valor de 420 kg/m³, señalando al mismo tiempo, que la madera de la especie tiende a ser menos densa que la de muchos pinos.

En cuanto a dimensiones celulares, Brown et als. (1949) señalan un valor máximo de tamaño de traqueidas de 45 μ en el diámetro tangencial (para un rango de 25 μ a 35 μ); y

variaciones longitudinales promedios desde 3,0 mm a 4,0 mm. Rydholm (1965) a su vez, reporta un largo celular de 3,5 mm; agregando que del volumen total de madera, un 93% corresponde a fibras y traqueidas y 7% a células parenquimáticas.

2.2 Peso específico de la madera.

2.2.1 Concepto de peso específico. El peso específico de la madera es la relación entre el peso seco a estufa de la madera (o peso anhidro) y el peso de un volumen igual de agua (Stamm, 1964; Delmastro *et als.*, 1980; Melo¹). El volumen puede ser aquel de la madera seca al horno o el de la madera completamente saturada o, incluso, el de un porcentaje de humedad determinado; por lo que se hace necesario cuando se entrega un valor de peso específico, clarificar la condición de volumen base a la cual se trabaja (Stamm, 1964). El peso seco de la muestra, por otro lado, se define como el peso obtenido secando la madera en un estufa a temperaturas entre 100°C y 105°C hasta peso constante (Melo y Paz, 1995). Se entenderá, finalmente, por volumen saturado (o volumen verde), aquel de la madera del árbol recién cortado, cuyo contenido de humedad es superior al del punto de saturación de la fibra; punto sobre el cual el volumen se hace constante e independiente del contenido de humedad (Brown *et als.*, 1949; Norma TAPPI 258 os-76, citada por Celis y Fernández, 1987).

Según Delmastro *et als.* (1980), el peso específico es también llamado densidad; existiendo una diferencia conceptual entre ambas denominaciones, por lo que ambos conceptos no deben ser confundidos (Brown *et als.*, 1949). Intentando aclarar la discrepancia, los primeros autores señalan: “se entiende por densidad de la madera, la masa por unidad de volumen de una especie cuando ambos valores se refieren a un mismo contenido de humedad”. Sin embargo, Melo y Paz (1995), expresan que en todos los casos la densidad se mide en base al peso de la madera seca, mientras que los mismos

¹ Melo, R., 1995. Profesor Titular. Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Concepción.

investigadores; junto a Bunster (1980) y Celis y Fernández (1987), reconocen la naturaleza higroscópica de la madera y la variación de su volumen con el contenido de humedad, por lo que se requiere que su densidad, al igual que el peso específico, sea expresada según el grado de humedad que contenga (Brown *et als.*, 1949). Es así como se define la densidad básica y anhidra como el cociente entre el peso anhidro y los volúmenes verdes (saturado) y anhidro (seco a estufa), respectivamente (Bunster, 1980). Se acostumbra a expresar también la densidad a un 12% de humedad para efectos de uniformar las comparaciones, estado conocido también como “seco al aire o seco al exterior” y al cual se acostumbra a efectuar las determinaciones de resistencia mecánica (Brown *et als.*, 1949; Bunster, 1980; Melo y Paz, 1995). Por otro lado, el término peso específico puede ser considerado equivalente al concepto de densidad básica (Timmell (1986), citado por Vargas, 1991).

Para Stamm (1964), Zobel y Talbert (1988) y Melo², el peso específico; por ser una relación de pesos, carece de unidades. Destaca el último investigador, que el término “peso específico” es la correcta traducción del concepto “specific gravity” utilizado en el idioma inglés.

Zobel y Talbert (1988) resumen sus conclusiones afirmando que peso específico y densidad son dos formas diferentes de expresar qué cantidad de sustancia madera se encuentra presente.

Según Brown *et als.* (1949), los pesos de la madera son varios; a saber:

- a) de acuerdo a la cantidad de sustancia madera (sustancia de pared celular),
- b) de acuerdo a la cantidad de extraíbles de la madera,
- c) de acuerdo al contenido de humedad de la madera.

² Melo, R., 1995. Profesor Titular. Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Concepción.

Correspondiendo la masa o peso de la madera, a la suma de los pesos parciales anteriores (Melo y Paz, 1995), por lo que, estrictamente hablando, la densidad real de la madera está de acuerdo sólo con la cantidad de sustancia de pared celular existente por unidad de volumen, siendo en la práctica, calculada sólo una densidad relativa, puesto que es impracticable separar los productos infiltrados de la sustancia propia de la madera (Brown *et als.*, 1949).

Debido a que todo material celulósico contiene espacios vacíos internos, es necesario introducir una sustancia para determinar el volumen real ocupado por el material sólido (Melo y Paz, 1995). La sustancia más comúnmente empleada, según esta fuente, es el agua; elemento que se une a la sustancia madera, de tal forma que queda comprimida; ocupando un menor valor que a presión atmosférica, por lo que, de acuerdo a Stamm (1964), provoca que el peso específico de la madera determinado por este método sea más alto, alcanzando valores entre 1,50 y 1,56, con un promedio de 1,53 (Melo³). Por otro lado, Kellog y Wangaard (1969), Kellog y Sastry (1975) y Tsoumis y Passialis (1977), citados por Kärenlampi (1992a), consideran que la variación de la densidad del xilema es causada principalmente por la proporción de material de pared celular; densidad que es levemente superior a 1,5 g/cm³ y de pequeña variabilidad. Finalmente, Brown *et als.* (1949), citando a Stamm (1938), plantean que el consenso general es que la densidad de la sustancia de la pared celular se aproxime a 1,53 g/cm³.

A fin de evitar la dificultad producida por el agua absorbida, Stamm (1964), citando a Davidson *et als.* (1927) y a Stamm *et als.* (1937), sugiere el uso de gas helio a 30°C como medio de desplazamiento. Según Melo y Paz (1995), este elemento es ideal para este propósito ya que por lo pequeño de sus moléculas, puede penetrar todos los espacios vacíos en la madera, incluyendo aquellos de la sustancia madera. Además, continúa la fuente, no es absorbido y, en consecuencia, no hay compresiones que reduzcan el volumen del gas introducido. El peso específico de la sustancia madera obtenido a través

³ Melo, R., 1995. Profesor Titular. Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Concepción.

de este método es 1,46; estimándose como muy cercano al valor real y, puesto que la densidad de la celulosa es casi idéntica a la de la lignina, la densidad de la sustancia madera se considera para efectos prácticos, constante para cualquier especie de madera y con un valor promedio de $1,46 \text{ g/cm}^3$ (Melo y Paz, 1980), recomendándose, por esta razón, utilizar tal valor cuando se requiera determinar el volumen de huecos con cierta aproximación bajo el punto de saturación de las fibras (Melo⁴).

Luego, el factor principal que influye en el peso específico, es la razón entre el volumen de poros y el volumen ocupado por las paredes celulares; por lo que las diferencias en densidad entre distintas especies son fundamentalmente fisiológicas (Erick (1951) y Megraw (?), citados por Celis y Fernández, 1987). Por su parte, Spurr y Hsiung (1954) afirman que las variaciones de peso específico entre especies y dentro del árbol son amplias y son el resultado de las diferencias en el volumen de poros y la presencia de materiales tales como resinas y gomas; los que junto a colorantes, taninos y otros extraíbles de la madera, influyen en no baja medida sobre la densidad relativa del leño (Brown *et als.*, 1949).

El peso específico de las maderas varía dentro de un amplio rango; que va de 0,04 (en el caso de *Aeschynomene ssp.*) ó 0,14 (en el caso de Balsa), hasta 1,42 para *Krugiodendron (Condalia) ferreum* (Vahl) Urb. (Brown *et als.*, 1949; Rydholm, 1965). Las maderas pulpables comerciales, por otro lado, se sitúan entre 0,3 y 0,6 (Rydholm, 1965). De acuerdo a éllo, Brown *et als.* (1949) intentan una clasificación de las maderas, que identifica como livianas a aquellas con un peso específico igual o menor a 0,36; siendo a su vez, moderadamente livianas -o moderadamente pesadas- las maderas que se sitúan entre 0,36 y 0,50. Finalmente, las maderas con valores de peso específico superiores a 0,50 son clasificadas como pesadas de acuerdo con los investigadores. Melo y Paz (1995), por otro lado, clasifican dentro de un margen alto, maderas con densidades relativas superiores a 0,71 y dentro de un margen bajo, las que presentan valores de

⁴ Melo, R., 1995. Profesor Titular. Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Concepción.

densidad relativa entre 0,1 y 0,35 (los mismos autores definen como Densidad Relativa, al cociente entre la densidad del material y la densidad del agua). Agrega esta fuente, que entre las maderas chilenas se detectan densidades relativas secas que van desde 1,08 para la madera de luma, hasta 0,38 para madera de álamo, estando en general, los valores de las maderas nativas entre 0,4 a 0,6.

De los criterios usados para determinar la calidad de la madera, el peso específico es el más importante puesto que se relaciona de manera directa con la resistencia de la madera y con los rendimientos de pulpa para la industria papelera, siendo a su vez, el principal indicador de la cantidad de fibra seca de la madera (Daniel *et als.*, 1982; González y Molina, 1989; Timell (1986), citado por Vargas, 1991).

Stamm (1964), reconociendo que esta propiedad del leño es particularmente importante en los procesos de fabricación de pulpa y pasta para papel, recuerda que; tanto la madera como el papel, están conformados de fibras de celulosa. En el caso de la madera, las fibras -inalteradas- están perfectamente orientadas en la dirección longitudinal del árbol y cementadas unas con otras a través de la lignina de la lámina media. En el papel en cambio, continúa la fuente, las fibras -removidas a través de procesos mecánicos, químicos o una combinación de ellos- se presentan azarosamente reordenadas, conformando un tejido artificial de fibras vegetales o, con menor frecuencia, de fibras animales, minerales o sintéticas según un patrón tridimensional de naturaleza porosa (Martin, 1965; Melo y Paz, 1980; Smook, 1990).

Los resultados obtenidos por Celis y Fernández (1987) en sus investigaciones, les permiten concluir que un aumento de la densidad básica trae consigo beneficios como: aumento del rendimiento de cocción, disminución del específico de sólidos, disminución del específico de álcali y un aumento del factor de rasgado. Sin embargo, se produce también un aumento de la dureza de la fibra, en tanto que en el proceso de blanqueo se obtiene una disminución del consumo de cloro activo total y un aumento del rendimiento. Por otra parte, Zobel y Talbert (1988) haciendo referencia a lo numeroso de las publicaciones sobre el tema, afirman: "es evidente que la importancia del peso específico

supera muchas veces la importancia de otras propiedades de la madera". A lo que agregan: "es tan importante que en la mayoría de los programas de mejoramiento genético forestal que tienen a la pulpa y al papel como productos finales, el peso específico es la única característica de la madera que se maneja". A lo anterior se suma la afirmación de Melo⁵, quien señala que cuando la madera llega a la planta de celulosa, su potencial para pulpa está ya fijado, pues las propiedades de resistencia máxima se determinan principalmente en el bosque; aunque también es importante la forma como la madera es suministrada, así como su tratamiento posterior. Por otra parte, Gysling (1982) ha concluido que existe influencia del peso específico y su resultante en la rotación económica de Pinus radiata D. Don.

En el libro "Guía para planificar empresas de pasta y papel" (FAO, 1973), se comenta que al hacer la selección de especies que abastecerán a una fábrica de pulpa, es de desear una alta densidad, ya que el rendimiento en pasta calculado sobre el volumen de madera es directamente proporcional a la densidad de ésta, así como a su contenido de celulosa. Además, se indica que la densidad y otras características físicas de la madera, tienen un efecto importante en los costos de materia prima y de fabricación de pasta y papel.

Para Balocchi y Delmastro (1993), el peso específico es una de las características más importantes de la madera ya que tiene relación con cada una de las propiedades físicas, mecánicas y químicas de este material, afirmación con la que concuerdan Gysling (1982), Burdon (1975), citado por Vargas (1991) y Delmastro et al. (1979), citados por Greenhill (1984). De acuerdo a Melo⁶, la densidad es la característica física más significativa para determinar la calidad de la madera y la pulpa, pues engloba en una sola variable los factores como: edad, posición en el fuste, velocidad de crecimiento, tratamientos silvícolas, calidad del sitio y herencia. El fenómeno anterior ha motivado a numerosos investigadores al estudio del comportamiento de esta característica de los árboles maderables, llegándose a determinar, en primera instancia, que el peso específico

^{5,6} Melo, R., 1995. Profesor Titular. Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Concepción.

varía en función de muchos factores que condicionan el desarrollo de las masas boscosas (Gysling, 1982), siendo, según van Buijtenen (1964), citado por Zobel y Talbert (1988), no una característica simple de la madera, sino una combinación de características; cada una de las cuales posee un sólido patrón hereditario propio. Combinados, finaliza la cita, determinan lo que se conoce como peso específico.

2.2.2 Variabilidad del peso específico.

2.2.2.1 Variabilidad dentro del árbol. La variación en el peso específico de la madera en un árbol individual es a menudo tan grande como la existente entre diferentes árboles (Zobel y Talbert, 1988; Thorbjornsen (1961), van Buijtenen *et als.* (1961), Webb (1964), Skolmen (1972), citados por Zobel y Talbert, 1988; Zimmerman y Brown (1971), citados por Vargas, 1991; Tamminen (1964), Hakkila (1966), citados por Kärenlampi, 1992a).

Las variaciones más fuertes de la densidad dentro de un árbol se presentan en la dirección radial dentro de cada anillo de crecimiento (Delmastro *et als.*, 1980). Los mismos autores señalan que la madera que se forma al inicio del crecimiento anual, es decir, la madera temprana, tiene densidades bastante bajas que se mantienen durante toda la formación de esta zona de crecimiento. Agrega la fuente citada, que terminada la formación de madera temprana, los valores de densidad comienzan a incrementarse rápidamente hasta alcanzar un máximo casi al fin de la madera tardía. Por otro lado, Olesen (1977), citado por Kärenlampi (1992a), constata comportamientos estables en los niveles de densidad básica en árboles de Picea Noruega, atribuyendo tal fenómeno al hecho de que el ancho absoluto de la zona de madera tardía no varía año a año.

Las variaciones que se presentan dentro de cada anillo de crecimiento, también son analizadas por Díaz-Vaz (1981), el que sostiene que la madera formada al inicio del periodo vegetativo -madera temprana- difiere de la madera tardía; formada al término del periodo anual. Entre estas dos zonas, según este autor, la característica más variable es la

relación pared celular-lumen celular que incide directamente en el peso específico y en la mayor parte de las propiedades y características del material leñoso.

En las coníferas, son las características de la madera de verano las que determinan las diferencias en las propiedades de la madera entre los árboles, mientras que en las latifoliadas el peso específico parece relacionarse con otros fenómenos, como el volumen de los vasos o la cantidad de células radiales (Taylor (1969), citado por Zobel y Talbert, 1988). Por su parte, Bunster (1980), citando a Kollman y Coté (1968), plantea -lo que es reafirmado por Daniel *et als.* (1982)-, que la diferencia de densidad en ciertas coníferas depende más de la proporción de madera de verano que contenga que de la diferencia entre la densidad de ésta y la de primavera. Al respecto, Melo⁷ afirma que las coníferas crecen en base a su madera de primavera, lo que significa que hay un mayor porcentaje de este tipo de madera presente en el árbol, siendo a su vez, un indicador de la proporción de material fibroso de paredes delgadas presentes en el leño; lo que no significa que esta característica sea siempre una buena estimación de la calidad de la madera, pues el tejido primaveral puede estar constituido por células de espesor variable dentro de un mismo árbol o entre árboles. Mikola (1950), citado por Kärenlampi (1992a), reconoce también el efecto de la madera primaveral, al señalar que en fustes de *Picea abies* (L.) Karst., la variación en el crecimiento radial entre estaciones sería debido a la variación en la cantidad de madera de primavera.

Las diferencias estacionales en la madera no dejan de tener utilidad práctica, puesto que; según Spurr y Hsiung (1954), el porcentaje de madera de verano puede ser estimado visualmente y ha sido usado como un confiable índice general de la densidad. También Rivas (1982), citado por Vargas (1991), refiere este método subjetivo para diferenciar madera juvenil de madura.

⁷ Melo, R., 1995. Profesor Titular. Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Concepción.

Citando a Larson (1969), Delmastro et als. (1980); afirman que la densidad de la madera temprana es, por lo general, menos variable entre distintos anillos si se la compara con la madera tardía; existiendo una gran variación entre especies y también entre la madera juvenil, con menor contraste que la madera madura, especialmente en las partes bajas del fuste. Al respecto, Díaz-Vaz y Ojeda (1980), en el estudio sobre densidad intraincremental de Pseudotsuga menziesii, observan que en la madera temprana las variaciones de densidad semejan una función de tipo hiperbólico, con un decremento fuerte en los primeros cinco anillos, para seguir más o menos constante hasta el doceavo año, presentando -finalmente- un ligero aumento de densidad a partir de esta edad. Para la madera tardía se observó un incremento fuerte en los primeros cinco años, variaciones poco definidas y con valores semejantes entre sí entre los seis y once años de edad, mientras que desde el doceavo año se detectan los valores más altos de densidad. Por otra parte, en las distintas edades fisiológicas, la densidad de anillos completos presenta promedios de tendencia parabólica que disminuyen en los seis primeros años, en tanto que las variaciones entre el quinto y octavo año muestran una tendencia más o menos constante. A partir del octavo año de edad los valores aumentan considerablemente. Semejante comportamiento, apunta la fuente citada, se observó para la madera de transición.

Kollman (1959), citado por Bunster (1980), afirma que la densidad de la madera de primavera; o bien desciende ligeramente desde la médula hasta la corteza o permanece constante, disminuyendo notablemente desde el tronco hacia la copa. Por el contrario, la densidad de la madera de verano, aumenta desde la médula hacia la corteza y disminuye igualmente desde el tronco hacia la copa.

La variación de la densidad en el radio es consecuencia del cambio de edad y, fundamentalmente, del efecto de la posición de la madera respecto de la copa (Delmastro et als., 1980; Carter, 1983). Para Gysling (1982), el peso específico aumenta notoriamente con la edad ya que hace aumentar el porcentaje de madera tardía y la densidad de la misma, fenómeno que también es sostenido por Melo et als. (1988) al

observar el efecto del aumento de la proporción de madera de verano cuando el ancho del anillo anual decrece, lo que se comprueba -según estos investigadores- con el mayor valor que alcanza la densidad en la clase diamétrica inferior. Estas conclusiones son puestas en duda por Spurr y Hsiung (1954), al sostener: “si bien la tendencia adoptada por el peso específico a partir de la médula está claramente establecida, resulta imposible saber si tal comportamiento está vinculado con la edad de la madera o con la posición de ésta en el árbol”.

En Pinus elliottii la densidad permanece constante en un rango de diámetros a una edad dada. Sin embargo, incrementos de $0,03 \text{ g/cm}^3$ a $0,04 \text{ g/cm}^3$ se encuentran en un período de cinco años, independiente del diámetro del árbol (Zobel et als. (1972), citados por Delmastro et als., 1980). Citando a Zobel et als. (1971), la misma fuente refiere que para esta especie se encontraron fuertes cambios de la densidad entre 11 años y 18 años, pero entre 18 años y 31 años los cambios fueron menores. Para Picea abies (L.) Karst. en particular, según la recopilación hecha por Kärenlampi (1992a), la densidad incrementa en los tres primeros anillos a partir de la médula, zona a la cual prosigue un descenso del atributo; retomando posteriormente el incremento primitivo hacia el sector cambial (Bertog, 1895; Hartig, 1898; Nylinder, 1953; Hakkila, 1966; Kucera, 1989; Saranpää, 1990). En la misma publicación, Kärenlampi (1992a) menciona las investigaciones de Tamminen (1964), quien constata resultados contradictorios con los señalados; en tanto que Kucera (1989), citado por la mencionada fuente, reporta importantes diferencias de densidad en la dirección radial de fustes de esta conífera nor-europea. Melo⁸ afirma que la densidad de la madera generalmente se incrementa hasta en un 40% anillo a anillo desde la médula hacia la periferia; tendiendo a nivelarse entre el anillo 20 y 30. Por lo tanto, existe una zona central de baja densidad (madera juvenil) justo en la porción central del árbol, seguida de una zona de transición de densidad media, para terminar en una zona de densidad alta (madera madura) en la parte baja del rollizo.

⁸ Melo, R., 1995. Profesor Titular. Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Concepción.

Ulloa (1962) detecta en Pinus radiata D. Don una densidad máxima a la edad de 40 a 43 años, tras la cual; según Sangüeza (1960), citado por el mencionado autor, comienza a disminuir. Por otro lado, Spurr y Hsiung (1954) informan que para ciertas coníferas la densidad declina después de los cien años. Aludiendo a diversos investigadores, la fuente mencionada entrega ejemplos para Pino del Sur, Sequoia, Pino Oregón, Pino Escocés y otras coníferas europeas.

En Pinus radiata D. Don creciendo en cuatro diferentes zonas de Chile, Paz y Ceballos (1966) encontraron en cada una de ellas un aumento de la densidad con la edad. Investigando esta misma especie en Chile, Ulloa (1962), Ortiz (1965) y Morales (1968), reportan aumentos de la densidad desde la médula a la corteza. Cown (1974a), citando a Harris (1965), indica que la madera juvenil a los seis años presenta un promedio entre los 270 kg/m^3 a 360 kg/m^3 y que la madera madura a los 35 años es un 50% mayor en densidad que los valores más bajos de madera juvenil en cualquier sitio.

El aumento de la densidad con la edad se explica por la ocurrencia de dos factores. Por una parte, la disminución de ancho de anillos de crecimiento con la edad (menor rapidez de crecimiento) y, por otra, la de un efecto de la edad propiamente tal y que se refiere al aumento de la textura y a un posible incremento con los años del grosor de las paredes celulares, especialmente las de las células de verano (Morales, 1968). Así, el grosor de las paredes celulares de la madera tardía (y su densidad) y también su porcentaje en el anillo de crecimiento tiende a crecer con la edad; lo que queda reflejado en parte, por un aumento de la textura para una edad dada, existiendo; en el caso de Pinus radiata D. Don, una correlación rectilínea entre textura y densidad (Ulloa, 1962).

Turnbull (1947), citado por Morales (1968), explica que el aumento de la densidad con la edad se debe solamente a que el porcentaje de madera de verano y el grosor de sus paredes se acrecienta al ir alcanzando el árbol su edad adulta; esto último, debido a un aumento en la especialización de los elementos celulares; lo que es reforzado por la afirmación de Sutton (1985), quien sostiene que la obtención de madera de alta densidad se logra con un crecimiento rápido, sin importar el ancho del anillo, sino más bien la edad

en que creció la madera. En el mismo sentido, Bendle y Phillips (1958), junto a Boutelje (1968); ambos citados por Kärenlampi (1992a), concluyen que (en la dirección radial) la cantidad de madera juvenil parece ser más dependiente del número de anillos de crecimiento que de la distancia en centímetros al centro de la médula. Por su parte, Daniel *et als.* (1982) señalan que el efecto de la tasa de crecimiento sobre el peso específico de la madera ha sido un importante tema de estudio, pero; sin embargo, la información que aparece en la literatura resulta confusa. No obstante, señalan los mismos autores citando a Spurr y Hsiung (1954), Zobel *et als.* (1969) y Choong *et als.* (1970), que al parecer las tasas altas de crecimiento no tienen efecto sobre la densidad, reconociendo de todos modos, su posible efecto en la relación madera tardía/madera temprana y, por ello, sobre el peso específico. Respecto de lo mismo, Zobel y Talbert (1988) recuerdan lo confuso y contradictorio de los resultados encontrados en la literatura, afirmando a su vez que la relación que guarda la tasa de crecimiento y el peso específico de la madera es complicada debido al número de factores que afectan tanto a la madera como al crecimiento del árbol. Tal confusión es reafirmada por Fernández-Golfín y Díez (1994) al mencionar que existen numerosos trabajos que cuestionan seriamente la fiabilidad predictora de la anchura del anillo respecto de la densidad y de la calidad mecánica de la madera, especialmente en piezas de tamaño estructural de especies de crecimiento rápido de los géneros Pinus y Populus, así como en Eucalyptus globulus y, al menos, en ciertas procedencias de Pinus sylvestris. Dichos investigadores reconocen, sin embargo, que tal situación cambia radicalmente cuando se trabaja con probetas de pequeñas dimensiones y libres de defectos. Así, continúa la cita, Waldford (1991) sobre Pino Radiata, obtiene coeficientes de determinación entre 26% y 100% cuando estudia la densidad y propiedades a flexión en función del espesor del anillo.

El que una rápida tasa de crecimiento cauce un bajo peso específico, parece ser cierto en el caso de algunos géneros como Abies y Piceas, pero no así en muchas de las especies de pinos, en las cuales las tasas de crecimiento y el peso específico no están correlacionados (Goggans (1961), Stairs (1969), Ollesen (1976), de Guth (1980), citados por Zobel y Talbert, 1988). Por otro lado, Wilkes (1984), citado por Fernández-Golfín y Díez

(1994), trabajando sobre seis especies de eucalypto, concluyó que el ritmo de crecimiento no influye significativamente sobre la densidad de madera libre de extractos.

Puesto que, en general, la madera juvenil tiene anillos anchos y bajo peso específico, se ha concluido, erróneamente, que la tasa de crecimiento (la anchura de los anillos) determina las diferencias de peso específico. Sin embargo, no importa si los anillos son anchos o angostos; en la mayoría de las maderas juveniles de coníferas el peso específico será bajo. La madera madura tendrá un peso específico mayor; por lo que no es necesario sacrificar madera por unidad de volumen y hoy puede aceptarse como un hecho el poder tener árboles de crecimiento rápido con peso específico ya sea alto o bajo (Zobel y Talbert, 1988). Reafirmando la escasa relación entre densidad y ancho de anillo, Penetra Cerveira Louzada (1991), citado por Fernández-Golfin y Diez (1994), infiere que la anchura de éste -en madera de Pinus pinaster portugués- depende de la procedencia mientras que la densidad depende de las características genéticas de cada individuo. Comentando el tópico relativo al espesor del anillo de crecimiento, Bunster (1980) señala: “no siempre un aumento debe implicar una disminución de la densidad, pues influyen la ubicación en el fuste, el sitio y la situación y densidad de la masa boscosa”. De acuerdo a esto, según Fernández-Golfin y Diez (1994), es posible incrementar el crecimiento sin merma significativa de la calidad mecánica de la madera a obtener; por lo que de la mejora genética y de la aplicación de correctas técnicas silviculturales orientadas al incremento de la producción no debe esperarse una merma significativa en tal característica.

Por su parte, Brun (1965) en su estudio sobre la influencia del crecimiento en la estructura de la madera de Pino Oregón, observa que el factor que influye determinantemente en la densidad es el ancho de anillo de crecimiento, y en éste hay una íntima correlación solamente con la densidad de la madera tardía; puesto que la densidad de las paredes celulares y la densidad de la madera temprana, así como su participación porcentual son invariables. Respecto de lo mismo, Harris y Cown (1991), citados por Fernández-Golfin y Diez (1994), analizando los datos de Cown y Parker de 1978, explican en Pinus radiata neocelandés, la débil correlación entre la anchura del anillo y la

densidad por la relativa similitud entre los valores de la densidad de la madera de verano y de primavera (550 kg/m^3 y 350 kg/m^3). Según éllo, de grandes variaciones en la anchura del anillo no deben esperarse sino reducidas variaciones en la densidad.

Coincidentemente, Díaz-Vaz y Ojeda (1980) no encontraron relación significativa entre la densidad de la madera y el ancho de los anillos de crecimiento. Tampoco se presentó relación significativa analizando por separado cada una de las épocas de crecimiento (madera juvenil, madera intermedia y madera adulta), ni separando cada una de las zonas del incremento anual (madera temprana, madera de transición y madera tardía). De las relaciones analizadas, se presentaron correlaciones significativas sólo entre el ancho total de anillo y los anchos de madera temprana, madera de transición y madera tardía.

Prosiguiendo con la revisión de tan contradictorio fenómeno, Wellwood (1960), citado por Morales (1968), comprobó que la rapidez de crecimiento tiene un gran efecto sobre la densidad de la madera de Tsuga heterophylla. La rapidez de crecimiento en Pinus radiata D. Don, según este autor, si bien es muy alta en su primer período de vida, tiende a decrecer con la edad, pudiéndose apreciar que el número de anillos por unidad lineal, tiende a aumentar a medida que el árbol se va desarrollando. Este aumento -prosigue la cita- que experimentalmente está comprobado, se ve acompañado por un incremento del peso específico. Respecto a la tasa de crecimiento, el mismo autor cita a Turnbull (1947), quien encontró en Pinus radiata D. Don y Pinus patula que la madera compuesta de anillos anchos era tan densa y resistente como aquella de anillos angostos a una misma edad. Ortiz et als. (1990), citados por Fernández-Golfín y Díez (1994), estudiando las dos subespecies de Pinus pinaster (atlántica y mediterránea), detectaron que las grandes diferencias en la anchura del anillo de éstas (5,3 mm y 2,9 mm, respectivamente) no guardaban relación con las escasas diferencias observadas en la densidad (518 kg/m^3 y 530 kg/m^3), ni con los módulos de resistencia y de elasticidad. Por otro lado, Kollman (1959), citado por Bunster (1980), señala que entre las latifoliadas, en aquellas especies de porosidad circular la densidad suele aumentar con el espesor del anillo; mientras que

en aquellas de porosidad difusa, la relación es irregular. Este comportamiento, prosigue la fuente, acontece también con la madera de coníferas.

Correlacionando la densidad con el ancho de anillo de crecimiento, Brun (1965) determina que el ancho aumentó constantemente desde la médula a la periferia hasta alcanzar un máximo de acuerdo al desarrollo de la copa, enseguida la disminución fue constante para equiparar el área basal producida con la capacidad asimilante de la copa. Paralelamente esta variación repercutió en la densidad de la madera, encontrándose una disminución de la densidad desde la médula a la corteza, situación observada tanto para el duramen como para la albura.

El problema de la relación diámetro y peso específico es abordada por Chesney (1970) en su estudio sobre Canelo, en el que concluye -citando similares conclusiones de Julio (1962) y Ulloa (1962)- que este último atributo es independiente del diámetro de los árboles. Para explicar tal afirmación, el autor hace referencia a la dependencia encontrada entre textura y peso específico por Brown (1949), Romero (1956) y Ulloa (1962), tanto para coníferas como para latifoliadas, en el sentido que texturas altas se relacionan estrechamente con pesos específicos elevados. De acuerdo a los antecedentes recopilados por el investigador, explica en base a la relación textura y peso específico; que al mantenerse constante la primera, necesariamente el peso específico queda determinado, puesto que la relación entre madera tardía y de primavera se mantiene en la misma proporción. Citando a Dadswell (1958), Chesney (1970) sostiene que la densidad de muchos árboles que crecen en condiciones naturales, está estrechamente asociada con el porcentaje de madera de verano a través de sucesivos anillos.

Un segundo hecho explicativo que observa Chesney (1970) en su estudio respecto a la relación diámetro y peso específico, es el que trata de las variaciones que experimentan el espesor de pared, el diámetro y el lumen de las traqueidas; las que llevan a pensar -según este autor- que a mayor diámetro de los árboles y, con ello, d.a.p., el incremento de crecimiento del espesor de pared es menor que el diámetro de las traqueidas, lo que viene a constituirse en una forma de compensación de la cantidad de material leñoso que se

incrementa; por que al ser mayor el incremento del diámetro de la traqueida, cabría la posibilidad de esperar una disminución en la cantidad de material leñoso en los mayores niveles de d.a.p.. Sin embargo, prosigue el investigador, tal posibilidad a su vez se vería compensada por la mayor cantidad de paredes celulares que aparecen por concepto de disminución del largo de traqueidas en los mayores d.a.p.; lo que se manifestaría finalmente en una leve disminución del peso específico hacia los mayores diámetros. Ulloa (1962) concluye, tras estudiar la madera de Pino Radiata, que no existe correlación alguna entre diámetro y peso específico. Sin embargo, sus resultados indican que existe un diámetro óptimo capaz de proporcionar un peso específico máximo, pasado el cual, tal valor tiende a disminuir. Por otra parte, Melo *et als.* (1988) determinan para Pinus radiata D. Don crecido en Chile, que la densidad de la madera varía en función inversa con respecto al diámetro del fuste.

Prosiguiendo con la revisión de las variaciones transversales, encontramos una publicación de Delmastro *et als.* (1980) en la cual recomiendan que al considerar distintas alturas en el árbol, debería tomarse especialmente en cuenta la edad y el "efecto copa", puesto que pueden cambiar los patrones de variabilidad de la densidad en el radio

Respecto a la influencia de la copa, las variaciones radiales parecerían obedecer a cierto efecto del desarrollo de la misma sobre cada capa de crecimiento; al tiempo que los valores observados para los sectores externos se deberían básicamente a que éstos se asocian a madera madura y de mayor peso específico en relación a la madera juvenil (Ulloa, 1962; Ortiz, 1965; Harris (1965), citado por Cown, 1974a; Harris (1965a), citado por Delmastro *et als.*, 1980; Díaz-Vaz y Ojeda, 1980; Díaz-Vaz, 1981; Daniel *et als.*, 1982; Melo *et als.*, 1988; Zobel y Talbert, 1988; Bernhart (1964) y Olesen (1977), citados por Kärenlampi, 1992a). El incremento hacia la madera madura fue detectado ya en Picea abies (L.) Karst. en la que, dentro de la sección de madera juvenil, los niveles de densidad decrecen entre los anillos anuales 3 a 9; incrementando hacia la madera madura, en donde no hay variaciones significativas en la dirección radial (Bernhart (1964) y Olesen (1977), citados por Kärenlampi, 1992a).

En relación a la posición de la madera en la dirección longitudinal, Díaz-Vaz y Ojeda (1980), al analizar las variaciones de la densidad con la altura en el fuste determinan que es posible reconocer el efecto copa, especialmente si se analizan las variaciones de densidad de los anillos más cercanos a la corteza en las diferentes alturas. A través de estas diferencias se pueden identificar las tres etapas de crecimiento, es decir, la madera adulta, la madera intermedia y la madera juvenil. Finalizan los autores, apuntando que en la parte baja y hasta los seis metros de altura los valores de densidad disminuyen, circunscribiéndose a esta parte la madera adulta. Desde los seis a los catorce metros en el fuste, la densidad es poco variable, correspondiendo esta parte a la madera intermedia. Desde los catorce metros hacia el ápice existe un aumento de la densidad (no en el caso de la madera tardía), que indica la etapa de madera juvenil.

Por otra parte, en forma más categórica, Spurr y Hsiung (1954) y Wahlgren *et als.* (1961), hacen notar que para ciertas coníferas, especialmente Piceas, la densidad no decrece marcadamente con la altura, lo que es reafirmado por Nylinder y Hägglund (1954), citados por Kärenlampi (1992a) para Picea abies (L.) Karst..

El comportamiento de la densidad con la altura parece asociarse a las características de la copa viva de los árboles, ya que es ésta la que define la posición en la cual se producen las auxinas y los carbohidratos y la presencia y relativa abundancia de estas sustancias, ejerce una fuerte influencia sobre la cantidad de madera juvenil, la proporción de madera temprana y tardía y la posición dentro del tronco del máximo espesor de anillo y, por lo tanto, sobre la conicidad del fuste (Daniel *et als.*, 1982).

Por otro lado, Volkert (1941) y Turnbull (1942), ambos citados por Spurr y Hsiung (1954); trabajando independientemente, demostraron que la falta de un gradiente de peso específico parece estar asociado a cierto grado de conicidad en estos árboles. El trabajo de Bryant (1950) respecto a la importancia de la forma de árbol sobre este atributo es también citado por Spurr y Hsiung (1954). A estos autores se agregan Zobel y Talbert (1988), quienes citando a Von Wedel *et als.* (1968), señalan que la forma más fácil de mejorar la calidad de la madera es desarrollar árboles más rectos que tengan también

ramas más cortas, las cuales crezcan perpendiculares al tronco del árbol. El principal resultado de estas mejoras es, según la fuente, la reducción del porcentaje de madera de reacción que acompaña a los árboles que no crecen verticalmente y que presentan ramas grandes o dispuestas en ángulos agudo. Según Daniel *et als.* (1982), el espaciamiento entre los árboles ejerce directa influencia sobre el tamaño de las ramas y de los nudos, sobre la proporción de madera juvenil y la rectitud de los troncos de las latifoliadas. El tamaño de las ramas, prosigue la fuente, está en gran medida controlada por el ambiente, es decir, del espacio que tengan los árboles para crecer; siendo la proporción de copa viva controlable en forma directa mediante un espaciamiento estrecho en el caso particular de los árboles no tolerantes.

Por otra parte, Spurr y Hsiung (1954) afirman que mientras más cilíndrico es el árbol mayor sería el decremento en peso específico con la altura. Marts (1949), citado por la fuente precedente; confirma esto para Pinus palustris, mostrando que en árboles podados la conicidad decrece; en tanto que la densidad promedio, incrementa.

Wahlgren *et als.* (1961) entregan posibles explicaciones a la tendencia detectada por ellos en Piceas y que apuntan básicamente a tres aspectos, los que resumidos son: el porcentaje de madera de verano no decrece en forma importante con la altura del árbol, la madera de primavera en la zona de corazón juvenil presenta una densidad significativamente alta en comparación con la madera madura, mayor densidad de la madera tardía por sí misma y el que los árboles viejos al cesar su crecimiento en altura disminuyen la distancia entre verticilos, lo que genera menor proporción de madera libre de nudos, con lo que el peso específico incrementaría, considerando que, próximo a la zona nudosa, tiende a aumentar la densidad de las secciones transversales superiores del fuste, según los mismos investigadores. Por su parte, Kärenlampi (1992a) afirma que la densidad reportada para la madera de nudo equivale a dos o tres veces la de madera normal, en tanto que Boutelje (1966) y Lehtonen (1978), citados por la misma fuente, trabajando con madera de Picea abies (L.) Karst. y Pinus sylvestris L., respectivamente, señalan que la densidad de la madera fustal también fue algo mayor cerca del nudo. Continúa el autor, refiriendo que la

proporción de volumen de nudos en, al menos 70% de las copas de árboles pulpables de *Picea Noruega*, fue de 1% a 2%; siendo tales porcentajes, a su vez, del orden de 0,5% a 1% en árboles completos (Nylinder y Haägglund (1954); Hakkila y Rikkonen (1970); Lehtonen (1978), citados por Kärenlampi (1992a). Finalmente, citando a Wegelius (1939 y 1946), sostiene que alrededor de un nudo, la madera de reacción asociada alcanza un 65% del volumen del nudo mismo.

Continuando con el análisis de la propiedad en estudio, Richardson (1961) muestra para *Pinus nigra* que la densidad mantiene tendencias semejantes en ocho diferentes niveles de altura; cada uno de los cuales indican una disminución de la densidad hasta el anillo número cinco y un aumento de ésta en los siguientes. Por otra parte, Zobel et als. (1972), citados por Delmastro et als. (1980), puntualizan que madera de troncos con diámetros menores a diez cm en la copa de árboles viejos tiene menor densidad que la del resto del árbol, pero mayor que la madera de copas de árboles jóvenes. Las diferencias, aclaran, se deben a distintas tasas de crecimiento. La cantidad de anillos en un diámetro dado, pequeña en la madera de la copa de árboles viejos, es mayor que el número de anillos que tienen los árboles jóvenes en la madera de la copa, resultando menos madera juvenil y mayor densidad en los árboles viejos que en los jóvenes. Ratifican lo anterior; Ulloa (1962) y Ortiz (1965) al afirmar que la densidad disminuye con la altura del árbol debido a que aumenta la participación de la madera joven.

Son numerosos los autores que han demostrado a distintos niveles la variabilidad de la densidad. En *Pinus ponderosa*, Marks y Yerkes (1972), citados por Delmastro et als. (1980), midiendo la densidad con tarugos de incremento de 12 mm de diámetro, encontraron una disminución de los valores con el aumento de la altura. En *Pinus radiata* D. Don chileno, Paz y Ceballos (1966) determinaron que la densidad anhídrica disminuye en todos los casos estudiados. También en *Pinus radiata* D. Don de Chile, Ortiz (1965) encontró iguales tendencias, las que son ratificadas por estudios más recientes para la misma especie por Melo et als. (1988).

Okkonen *et als.* (1972), citado por Delmastro *et als.* (1980); encontraron dos tendencias de variación de la densidad con la altura en el fuste para diferentes especies. La primera tendencia corresponde a una disminución de la densidad con la altura en especies con alto porcentaje de madera tardía. Esta la explican como un efecto de la edad que hace aumentar el porcentaje de madera tardía y la densidad de la misma. Estas formas de variación ya habían sido encontradas por Knigge y Schutz (1966), citados por Delmastro *et als.* (1980) quienes para *Pseudotsuga menziesii* por ejemplo, señalan que la madera temprana disminuye primero hasta cerca de cinco metros de altura y luego aumenta; en tanto que la madera tardía, primero aumenta y luego disminuye levemente. Ambas fuentes concluyen que hay un aumento de la densidad de la madera temprana con la altura del árbol.

Díaz-Vaz y Ojeda (1980) estudiando la madera de Pino Oregón, determinan que las diferencias de densidad de la madera temprana parecen indicar que ésta es la única zona del incremento anual que se ve afectada por la altura en el fuste. Explicando tal comportamiento estos autores señalan que pudiera pensarse que las necesidades de transporte del árbol son distintas a diferentes edades. En sus primeros años de vida (parte baja de la madera juvenil) y durante el inicio de cada incremento anual, requiere transportar mayores volúmenes de savia que a edades mayores (parte alta de la madera juvenil). Esto afectaría el diámetro de los lúmenes de las traqueidas y, por ende, la densidad de la madera temprana.

Una segunda tendencia para maderas con bajo porcentaje de madera tardía es referido por Delmastro *et als.* (1980), quienes observan un incremento de la densidad con la altura. Tal aumento se explica, según estos autores, como resultado del incremento de la densidad de la madera temprana y de la ausencia del efecto de la edad en el porcentaje y la densidad de madera tardía para estas especies. Sin embargo, suele darse poca importancia al efecto de las diferencias entre las células de la madera de primavera sobre las variaciones de peso específico en los árboles, si bien este tipo de madera muestra algún efecto. Las propiedades de la células de la madera de primavera pueden variar de

un árbol a otro, pero el efecto de las diferencias entre dichas células es, por lo general, bastante pequeño, de modo que los efectos resultantes sobre el peso específico total del árbol no son importantes (Zobel y Talbert, 1988).

Los primeros diez a quince anillos de crecimiento anual de las coníferas (que se encuentran cerca de la médula de cualquier entrenudo), tiene características especiales que los diferencian de los anillos subsiguientes de madera en estado maduro. Es decir, que existe un corazón de madera juvenil (madera de corazón) a todo lo largo del árbol, y que las características de esa madera se relacionan de modo estricto con la edad. En un árbol de diez a quince años toda la madera es de tipo juvenil, de manera que la cantidad de ésta depende de la tasa de crecimiento; la que a su vez depende en gran parte del vigor y el tamaño de la copa viva del vegetal. Tras estas edades, los anillos anuales de madera tienen características juveniles en la porción superior del tronco y características maduras en la porción inferior, definiéndose así la madera juvenil como aquella que se forma bajo la influencia directa de la copa (Daniel *et als.*, 1982, Zobel y Talbert, 1988). Olesen (1977), citado por Kärenlampi (1992a), por otro lado, considera que el límite entre madera madura y juvenil se encuentra entre los quince a veinte anillos anuales.

La edad real del árbol no es importante, pero el número de anillos desde el centro o médula determina si se formará la madera juvenil. La formación de madera juvenil y madura, aparentemente está relacionada con la madurez de las células del cambium; madurez que es afectada por el balance hormonal (Zobel y Talbert, 1988). De modo que la madera juvenil se formará cerca de la copa del árbol, sin importar cuan maduro sea éste. Por otro lado, afirmando que la edad fisiológica del árbol es el factor que afecta en forma más significativa la biometría de la fibra y, por ende, su densidad, Melo⁹ agrega que la edad del cambium es otra fuente importante de variación de las propiedades de resistencia de las pulpas. Continúa el investigador comentando que madera formada por cambium joven, es decir, madera juvenil, produce fibras cortas y de paredes delgadas, lo

⁹ Melo, R., 1995. Profesor Titular. Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Concepción.

que se traduce en una baja densidad de la madera. En cambio, madera formada por un meristema lateral de mayor edad, produce madera adulta de fibras más largas y de paredes gruesas, lo que conlleva densidades mayores. Aludiendo al efecto que ejerce la cercanía de la copa en el cambium, Díaz-Vaz (1981) explica las diferencias entre madera juvenil y madura de Pino Oregón creciendo en Chile, definiendo la primera como aquella más cercana a la médula y que en coníferas presenta menor peso específico, menor largo de traqueida, menor densidad de contraste, mayor ancho de anillo, mayor ángulo fibrilar y otras diferencias si se compara con la madera madura; más alejada del centro del tronco. Sostiene esta fuente que tal influencia se pierde a medida que crece el árbol y la copa se aleja de una determinada zona cambial, la que deja de formar madera juvenil.

Respecto a la presencia de madera joven, Díaz-Vaz y Ojeda (1980) y Zobel *et al.* (1972), citados por Delmastro *et al.* (1980), indican que la variación de densidad de madera juvenil desde la base del árbol a la copa es pequeña, no así la de madera madura. Para Melo *et al.* (1988) y Zobel y Talbert (1988), el peso específico de la madera juvenil es menor que el de madera madura. Afirman estos últimos que tal característica se debe principalmente a las paredes celulares delgadas y a la poca abundancia relativa de las células de tipo madera de verano. Por este motivo, muchos efectos; tales como el sitio y el genotipo -según Burdon y Harris (1973)- son menos marcados en lo alto del fuste que en el d.a.p.. Igualmente Wahlgren y Yandle (1970), citados por Delmastro *et al.* (1980), señalan que para distintas tasas de crecimiento la densidad a una distancia desde la médula decrece con la altura, siendo la tasa de disminución mayor en la base que hacia la copa.

La densidad varía según la altura en el árbol (Bethet (1941) y Echolls (1972), citados por Daniel *et al.* 1982; Martínez y Pacheco (1990). En cualquier capa de madera existe una disminución de alrededor de diez por ciento en peso específico entre la base y la porción superior; lo que se debe a las diferencias entre las características de la madera juvenil y la madura, las que a su vez están influidas por el tamaño de la copa (Daniel *et al.*, 1982). Por otra parte, Díaz-Vaz y Ojeda (1980) señalan que en los árboles adultos, la madera

juvenil presenta valores de densidad mayores en la parte alta del fuste. A esta zona de mayor densidad, afirma la fuente -citando a Zobel *et als.* (1972)- se le ha denominado "top-wood". Por los resultados obtenidos, la especie Pseudotsuga menziesii pareciera presentar este tipo de madera de mayor densidad en la parte alta del fuste, concluye la fuente.

Un estudio realizado por García (1951), respecto al contenido de humedad en árboles viejos, indica que la relación entre esta variable y la densidad se resuelve según una parábola decreciente y cóncava, es decir, que a mayor contenido de humedad en la madera, menor es el peso específico de la misma. La fuente citada admite que la tendencia general es hacia un mayor contenido de agua en la base del árbol, lo que es ratificado por Brun (1965), quien distingue en su estudio sobre madera de Pino Oregón las zonas de duramen y albura. Observa la extrema sequedad del primero y el descenso del nivel de agua con la altura; contrariamente a la albura, que contiene porcentualmente más agua hacia la parte superior. Las diferencias en el contenido de humedad entre estas dos zonas del leño, son reconocidas también en fustes de Picea abies (L.) Karst. por Hartig (1892); Nylinder (1950, 1953 y 1961); Tamminen (1964) y Kucera (1989), citados por Kärenlampi (1992a).

El efecto de la duramización sobre la densidad de la madera es reportada por la literatura. Así, Bunster (1980) informa pequeños aumentos del peso específico como consecuencia de este proceso. Kollman y Coté (1968), citados por esta fuente, indican que el almacenamiento de sustancias minerales (cristales de oxalato cálcico, etc.), así como la presencia de células de relleno (tilosis) y de algunas resinas influyen en la densidad de la madera, especialmente en el duramen. En albura sólo se ha observado la influencia de ciertas sales orgánicas e inorgánicas que presentan ciertas especies. En Picea abies (L.) Karst., sin embargo, se ha detectado que la cantidad de extraíbles es mayor en albura que en duramen (Ekman (1979); Ekman *et als.* (1979); Sjöström (1981), citados por Kärenlampi, 1992a). Por otra parte, Spurr y Hsiung (1954) destacan la existencia de resinas -lo que es destacado también por Ulloa (1962)- y gomas como causa de variación

de la densidad. La duramización como responsable del incremento del peso específico en la zona central del fuste, es señalada, además, por Melo¹⁰.

Finalmente, Díaz-Vaz y Ojeda (1980) afirman que, normalmente, la zona del tocón de los árboles es diferente en sus características a la del resto del árbol por la influencia de las raíces.

2.2.2.2 Variabilidad entre árboles del rodal. Las variaciones de peso específico entre árboles son muy amplias, aun cuando se consideren árboles iguales en edad, clase de copa y condiciones de ambientales comparables (Nicholls y Dadswell (1965), citados por Vargas, 1991; Kärenlampi, 1992b). Delmastro *et als.* (1980) señalan que entre especies, el peso específico varía de 0,2 g/m³ a 1,3 g/m³ como valores extremos. Agrega la misma fuente que las diferencias entre árboles dependen igualmente de la especie. Por su parte, Zobel y Talbert (1988) y van Buijtenen *et als.* (1961); Thorbjornsen (1961); Webb (1964) y Skolmen (1972), citados por Zobel y Talbert (1988), señalan que la uniformidad en la calidad de la madera entre los árboles provenientes de semilla no existe y que en todas las características de la madera que se han estudiado adecuadamente hasta la fecha, siempre se ha encontrado que la variación entre los árboles de la misma edad y que crecen en el mismo sitio es grande.

Según Tamminen (1964) y Hakkila (1966), citados por Kärenlampi (1992a), la variación de densidad entre árboles de Picea Noruega es considerable. De acuerdo a la cita, en los materiales que Hakkila (1966) colectó desde un área geográfica dada, la desviación estándar de la densidad entre fustes de esta especie fue de 30 kg/m³, con un coeficiente de variación de 8%, distribuyéndose el atributo en el rango de 308 kg/m³ a 482 kg/m³. En el norte de Finlandia, se reportan aun valores de 680 kg/m³ (Wegelius (1946), citado por Kärenlampi, 1992a). En los resultados de Hakkila (1966), según la misma fuente, la

¹⁰ Melo, R., 1995. Profesor Titular. Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Concepción.

variable que mejor explica las diferencias de densidad entre árboles de Picea abies (L.) Karst. es el Índice de Crecimiento: Diámetro del fuste/ Edad del árbol. Hakkila y Uusvaara (1968), citados por Kärenlampi (1992a), establecen a su vez, que la tasa de crecimiento y la edad reflejan mejor la densidad, tanto entre árboles como entre rodales.

La variabilidad de las características entre árboles de Pinus radiata D. Don; según Dadswell et als. (1961), se deben a dos factores: heredabilidad y condiciones ambientales en que crecen. Es así como árboles de diferentes orígenes genéticos responden en diferente manera a una misma influencia externa (Larson, 1962). Para Pinus radiata D. Don, Harris (1965a), citado por Delmastro et als. (1980), muestra que en madera madura, los árboles de alta densidad tienen comúnmente cerca de un 50% más de sustancia leñosa por unidad de volumen que los árboles de baja densidad dentro de un rodal.

2.2.2.3 Variabilidad entre rodales y localidades. Para Delmastro et als. (1980), en la mayoría de las especies la variación del peso específico entre rodales dentro de una misma localidad prácticamente se confunde con aquella proveniente de entre árboles del mismo rodal. Citando un estudio de variabilidad geográfica, los mismos autores señalan que en Pinus rigida se determinó que la variación entre árboles era mayor que la variación de la densidad entre los rodales de una misma localidad. Por otra parte, Kärenlampi (1992b) señala que el más probable factor que controla la variación del peso específico entre rodales es la tasa de crecimiento.

La variabilidad del peso específico entre localidades, sin embargo, tiene un comportamiento totalmente diferente al descrito, ya que en varias especies coníferas se ha encontrado gran variación entre razas geográficas (Paz y Ceballos, 1966; Posey et als., 1969; Harris (1965a), Saucier y Taras (1967), Rink y Thor (1971), Zobel et als. (1972), Ledig et als. (1975), citados por Delmastro et als., 1980).

Una tendencia que se observa con frecuencia, es aquella en que el peso específico dentro del área de distribución de una especie, es menor cuando ésta se interna tierra adentro alejándose de la costa o hacia latitudes o altitudes mayores (Zobel y Talbert, 1988).

En Pinus taeda por ejemplo, se encontró una gran variación del peso específico entre localidades, estableciéndose que éste varía aumentando desde el Norte al Sur; del mismo modo que en la mayoría de las especies del Sur-Este de Estados Unidos de Norteamérica, excepto en Pinus serotina (Mc Elwee y Zobel (1962), Rink y Thor (1971), Thor (1976), citados por Delmastro et als., 1980). Mostrando la tendencia que sigue el peso específico de Pinus taeda del Sur de EE.UU. -disminución de Sur a Norte y de costa a tierra adentro-, Zobel y Talbert (1988), señalan que por lo general son tendencias inducidas por el ambiente y no son muy heredables.

En Nueva Zelandia el peso específico de Pinus radiata D. Don varía entre localidades, disminuyendo desde Norte a Sur, excepto en los sitios deficientes en fósforo en los que se encontraron los valores más altos de una localidad determinada. Por otra parte, para la especie creciendo en Australia las diferencias de peso específico entre sitios no fueron significativas (aunque se reportan resultados contradictorios). Aparentemente, en esta conífera la densidad de la madera temprana y tardía tiene gran variación entre diferentes localidades (Fielding y Brown (1960), Eldridge (1962); Harris (1975a), citados por Delmastro et als., 1980). En Chile se han encontrado diferencias de la densidad de la madera al estudiar rodales de 21 años de edad de cuatro diferentes localidades, sin embargo, no se estableció un patrón claro si esta variabilidad es del tipo clonal o ecotípica (Paz y Ceballos, 1966). Finalmente, Delmastro et als. (1980), citando una comunicación personal de Smith, señalan que aparentemente existe una variación entre localidades, disminuyendo el peso específico de Norte a Sur del país.

Respecto al sitio como causa de variación, Morales (1968) concluye que para una misma edad la clase de sitio modifica en forma apreciable el peso específico de la madera de Pinus radiata D. Don; agregando que un resultado inmediato es el que la densidad de la madera aumenta al disminuir la calidad del sitio de procedencia. Lo anterior, según este

autor, ha sido registrado para otras especies. Cita como ejemplo a Wellwood (1960); quien trabajando en Tsuga heterophylla concluye que el sitio tiene un efecto significativo en el peso específico, encontrando que éste disminuye frente a un aumento del índice de sitio. Lo anterior es corroborado por Kärenlampi (1992a), quien, relacionando la tasa de crecimiento, señala que la densidad de la madera se relaciona con la fertilidad del sitio. Klem (1934 y 1965), citado por este investigador, reporta que los mejores sitios presentan densidades 10% inferiores en relación a los valores detectados en sitios deficientes. Por otro lado, Hakkila (1966), citado por la misma fuente, ha informado diferencias de 5% a 6% en la densidad de árboles coetáneos de Picea abies (L.) Karst., entre sitios buenos y sitios relativamente pobres. Prosigue la cita, señalando que entre árboles jóvenes desarrollados en sitios de alta calidad e individuos viejos creciendo en sitios pobres hay diferencias de hasta 12% en la densidad del leño. Sin embargo, Karth (1967), así como Fiedeling y Brown (1960), citados por Morales (1968), concluyen que la calidad del sitio posee poca o nula importancia en el peso específico de la madera, siendo en todo caso, baja la correlación entre estas variables. Tal discrepancia sucede al parecer -prosigue el autor- por la gran variación en las condiciones bajo las cuales crecen los árboles en los distintos países y regiones. Así, las clases de índice de sitio en base a alturas promedio de árboles, no tendrían una significación universal frente al peso específico (Morales, 1968). Para este autor, la explicación de por qué el peso específico aumenta con el empobrecimiento en las clases de sitio tendría bases anatómicas, y está en el hecho de que el largo de traqueidas disminuye a medida que crece la clase de sitio respecto a una misma edad. Lógicamente, si la longitud de traqueida es menor en sitios pobres, concluye la fuente precedente, el volumen ocupado por la paredes celulares crecerá y esto se notará en un aumento de la densidad de la madera por existir menos espacios ocupados por las cavidades celulares. Por último, Melo et als. (1988), citando a Cown (1980); sostienen que se muestra una importante influencia de la ubicación geográfica del sitio de crecimiento sobre las características de las fibras y de la madera, estableciéndose que la madera producto de distintas regiones tiene un potencial diferente para la fabricación de papel. Por otro lado, caracterizando la pulpa kraft de Pinus radiata

D. Don chileno, Martínez y Pacheco (1990), son aún más categóricos y afirman que la densidad básica de esta conífera depende principalmente del sitio. En este sentido, Morales (1968) sostiene que la rapidez de crecimiento decrece con la clase de sitio, lo que se manifiesta por una disminución del ancho de anillo, lo que afecta la densidad haciéndola aumentar. Prosigue la fuente, señalando que la madera proveniente de buenos sitios, posee una mayor proporción de madera de primavera que aquella de sitios pobres, repercutiendo en la densidad de la misma.

Existen numerosos ejemplos de cambios extremos en el peso específico de la madera cuando los árboles crecen en ambientes exóticos. Uno de los ejemplos más sobresalientes, es el de la región costera del Sur de Africa. Allí, Pinus caribea produce madera con peso específico excepcionalmente alto, mientras que Pinus elliottii, en ambientes casi idénticos, produce madera con peso específico extraordinariamente alto (Zobel y Talbert, 1988).

2.2.3 Herencia del peso específico.

En los actuales programas de mejoramiento genético que se están llevando a cabo en el mundo, el mejoramiento del peso específico de la madera es el centro de interés, debido a las implicancias que esta propiedad tiene para la industria forestal y, fundamentalmente, porque es una de las propiedades de la madera que está bajo un fuerte control genético (Burdon y Harris, 1973; van Buijtenen (1962), Brown (1967), Burdon et als. (1972), Zobel et als. (1972), citados por Delmastro et als., 1980).

A pesar que la densidad de la madera depende de otros caracteres, su comportamiento refleja un alto grado de control genético que permite, mediante adecuada selección, cambiarla a rangos más deseables para productos industriales específicos (Delmastro et als., 1980).

La misma fuente, citando a Mitchell (1961), sostiene que el cambio del peso específico mediante la selección de fenotipos, presumiblemente portadores de los genes deseados, no necesariamente se hace con el fin de aumentar su magnitud, sino que también puede hacerse para obtener valores promedios de peso específico más bajos que los actuales, dependiendo del producto final deseado. El mejor ejemplo de éllo, es la fabricación de pulpa y papel, donde la densidad juega un rol de gran importancia, ya que cada tipo de papel tiene un óptimo de densidad de la madera (Watson y Dadswell, 1962; Uptrichard, 1973; Blair et als., 1975; Zobel et als., 1978).

El patrón de variación genética de la densidad dentro de un árbol individual es moderado; siendo los cambios ambientales las causas principales de la variación (Kärenlampi, 1992a).

En relación a la velocidad de crecimiento, algunos autores han sugerido que ésta estaría negativamente correlacionada con la densidad de la madera. Si ésto fuera así, en Pinus radiata D. Don no se podría seleccionar para rápida velocidad de crecimiento y alto peso específico en forma simultánea, sino que solamente uno de los dos caracteres a la vez y en detrimento del otro (Stonecypher et als., 1964; Squillace et als., 1966; Delmastro et als., 1980; Mc Elwee y Zobel (1962), citados por Delmastro et als., 1980). En algunas investigaciones se ha detectado esta correlación negativa, pero en las progenies se han encontrado familias de rápido crecimiento y alta densidad en forma simultánea, lo que indica que se pueden seleccionar ambos caracteres en la misma dirección (Burdon y Harris, 1973; Stonecypher y Zobel (1966), Zobel et als. (1969a), citados por Delmastro et als., 1980).

Considerando que la densidad de la madera es un carácter independiente de otras propiedades de interés económico y que, además es altamente heredable, es posible obtener importantes ganancias genéticas mediante adecuadas técnicas de selección; acompañadas ambas condiciones de una cierta magnitud de selección para que la ganancia sea suficiente y atractiva para el mejorador (Delmastro et als., 1980).

Por lo general, el propósito de incluir el peso específico de la madera como criterio de selección, es para aumentar la resistencia y estabilidad de la madera aserrada, aumentar los rendimientos en peso seco de pulpa por unidad de volumen y aumentar la resistencia al rasgado del papel (Wilcox (1975), citado por Delmastro et als., 1980).

2.2.4 Influencia del medio sobre el peso específico.

Para evaluar las causas que afectan los valores de densidad, se debe subrayar; según Díaz-Vaz y Ojeda (1980), que:

- a) La formación de la madera está influenciada por factores ambientales y genéticos. El efecto de los factores ambientales puede variar de año en año y de localidad en localidad, pudiendo originar diferencias más o menos notables de las características y propiedades del material leñoso entre periodos de crecimiento,
- b) La proporción de pared celular, y con esto, la densidad de la madera, cambia drásticamente desde el inicio al término de cada periodo de crecimiento anual como consecuencia de las variaciones de los factores ambientales durante el año calendario.

Las consideraciones anteriores, continúa la fuente, permiten inferir que la densidad en el incremento anual depende de la proporción de madera tardía, de transición y temprana y de las densidades que presentan cada una de ellas. Por tanto, para reconocer el efecto del ambiente en la calidad de la madera, es decir, en la densidad de la madera, deben evaluarse los efectos de los factores ambientales durante cada uno de los periodos de formación, es decir, sobre la madera tardía, de transición y temprana.

En relación con la altura, Bunster (1980), afirma que la variación de la densidad con la altura del tronco puede ser perturbada por las condiciones del medio.

El ambiente influye en forma significativa sobre el peso específico, incluso en una proporción mayor que el efecto de origen de la semilla (Cown, 1974c; Zobel et als.

(1972), citados por Delmastro *et als.*, 1980). En varias especies del género Pinus del Sur-Este de Estados Unidos de Norteamérica se encontró una clara tendencia al aumento del peso específico de la madera hacia el Sur-Este al disminuir la latitud y la longitud. Esta tendencia relacionada a un cambio geográfico, se explica por un aumento de las precipitaciones estivales en esa dirección (Mitchell, 1964).

Para la misma región, Goddard y Strickland (1962), pudieron observar que la formación de madera tardía fue favorecida por lluvias estivales o tardías; lluvias primaverales, en cambio, favorecieron la formación de madera temprana. Esto coincide con lo expresado por Larson (1962), en el sentido de que con un período vegetativo más prolongado se favorece la formación de madera tardía; lo que es enfatizado por una mayor cantidad de lluvias estivales.

Los cambios de densidad aquí analizados, no se explican entonces por la ubicación geográfica per se, ya que en la costa Oeste de los EE.UU. de Norteamérica, otras especies de coníferas no mostraron tales tendencias con la latitud y longitud (Mitchell, 1964). En este caso, los cambios se explican por los factores directos del crecimiento, como son: radiación, precipitación y temperatura (Delmastro *et als.*, 1980).

Los últimos autores, señalan que los factores directos principalmente mencionados en la literatura fueron: precipitación y temperatura. Una mayor temperatura media anual y mayores precipitaciones estivales y otoñales favorecen un aumento de la densidad de la madera (Goddard y Strickland, 1962; Cown, 1974c; Harris (1965 y 1973), citado por Delmastro *et als.*, 1980). Esto explica que a mayores elevaciones se debe esperar un menor peso específico de la madera a raíz de las menores temperaturas promedios. Probablemente, como se encontró en Pinus contorta, la menor densidad se debe en parte a la formación de madera tardía de menor densidad en sitios más fríos. A diferencia de los efectos de las temperaturas diurnas y anuales promedio analizadas hasta aquí, en aquellos sitios con temperaturas nocturnas bajas y diurnas dentro del rango adecuado para la especie, se encontró una mayor densidad de la madera; lo que con seguridad se

debe a una mayor asimilación neta (Delmastro *et als.*, 1980; Richardson y Dinwoodie (1961), Harris (1973), citados por Delmastro *et als.*, 1980).

En relación a la fertilidad del sitio, Melo¹¹ afirma que la calidad de éste es una importante fuente de variación de la calidad de la madera; lo que influye en las propiedades de resistencia de la pulpa. Más detalladamente, Delmastro *et als.* (1980) señalan que la tendencia general es que en sitios más fértiles, la densidad de la madera sea algo menor; sin embargo, esta disminución no tiene en la mayoría de los casos, significación práctica. Por otra parte, para una región determinada, la variación del peso específico entre diferentes sitios es sólo alrededor de un 5%, excluyendo los sitios de pronunciadas deficiencias nutritivas (Hamilton y Harris, 1965; Burdon y Harris, 1973).

En cuanto a la disponibilidad de elementos nutritivos en el suelo, diferentes autores han determinado que al igual que en árboles suprimidos, los árboles que se desarrollan en sitios deficientes en elementos nutritivos presentan una densidad mayor (Burdon y Harris, 1973; Cown, 1974c). Una fertilización mineral que elimine tales deficiencias, tiene por resultado la baja del peso específico a niveles normales (Delmastro *et als.*, 1980). Es el caso de fertilizaciones con fósforo, puesto que la fertilización con este elemento disminuye los altos valores de peso específico, que son comunes a los árboles que crecen bajo fuertes deficiencias del mismo (Zobel y Talbert, 1988). Según estos investigadores, una fertilización intensiva con nitrógeno para acelerar el crecimiento provoca una disminución del peso específico. Por otra parte, aquellas medidas de fertilización en suelos sin deficiencias producen, en general, una disminución de la densidad al estimular principalmente el crecimiento de la madera temprana en el período primaveral (Higgs y Rudman, 1973). En otros casos, sin embargo, tales efectos no alcanzan significación práctica, posibilitando en cambio, un aumento de la producción maderera por unidad de superficie y la mantención de la proporción de madera temprana

¹¹ Melo, R., 1995. Profesor Titular. Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Concepción.

y tardía al estimular la proporción de ambos (Cromer y Hansen, 1972; Cown, 1974c; Zobel (1961), Seibt *et als.* (1968), citados por Delmastro *et als.*, 1980).

La densidad del rodal o espaciamiento, presenta; dentro de los límites de crecimiento normales, una relación débil con la densidad de la madera (Delmastro *et als.*, 1980). La fuente precedente afirma que una densidad baja de plantación y prácticas de raleo contribuyen generalmente, a bajar la densidad de la madera en forma temporal; lo que no tiene un efecto importante en rotaciones largas. En relación con las prácticas de raleo, los mismos autores afirman que tales intervenciones contribuyen a disminuir la densidad de la madera, generando un mayor ancho de anillo. González (1987) corrobora lo anterior, al señalar que con el aumento de la intensidad de raleo, disminuye la tasa de crecimiento de la densidad aparente intraincremental, mostrando las mayores magnitudes de densidad las áreas sin raleo. Una Comunicación Personal de González (1991), citada por González y Molina (1989), explica de manera bastante lógica el comportamiento descrito previamente. Según el investigador aludido, a mayor velocidad de crecimiento se generan anillos más anchos y, por ende, menos densos. De acuerdo con Melo¹², en general, el efecto de los tratamientos silviculturales en la calidad de la madera (mirándolo desde el punto de vista de madera para pulpa y no para fines estructurales) y en la resistencia de la pulpa, es bastante menor en comparación al efecto de la edad, calidad del sitio, etc.. Agrega este investigador, que las variaciones en las propiedades de resistencia de la pulpa debido a la aplicación de diferentes operaciones silviculturales en los árboles, están relacionadas con cambios en la velocidad de crecimiento. Un incremento de ésta, continúa la fuente, significa un retorno a la madera juvenil (por un aumento de la madera de primavera), lo que implica una disminución de la densidad, longitud de fibra, etc.; reconociendo, al mismo tiempo, que estos efectos -dentro de los límites normales de crecimiento- son temporales y mínimos si se considera una rotación completa.

¹² Melo, R., 1995. Profesor Titular. Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Concepción.

Cown (1973) ha calculado que un rodal de 25 años tendrá una densidad 8% menor que el mismo rodal sin raleo a idéntica edad. Por otra parte, Nicholls (1971) afirma que pese al incremento radial originado por el raleo, no hubo cambios significativos en el valor de la densidad aparente de la madera de Pino Radiata; estando sujetos estos cambios a la modificación efectiva en la proporción de madera de primavera y madera de verano. Finalmente, Van Lear (1973), citado por González y Molina (1989), contrariamente a los resultados señalados previamente, concluyó que el raleo aumentó significativamente el crecimiento radial y la depositación de madera de verano en cada una de las dos estaciones de crecimiento posteriores a la aplicación del tratamiento, aumentando de esta forma la densidad.

Rotaciones cortas favorecen una mayor proporción de madera juvenil (Zobel y Talbert, 1988), lo que incide significativamente en la reducción de la densidad promedio del rodal (Cown, 1974a). En el mismo sentido, Melo *et als.* (1988) sostienen que en la medida que la edad de rotación crece, el contenido de madera juvenil se atenúa porcentualmente. Para Zobel y Talbert (1988), el espaciamiento de plantación tiene un importante efecto sobre la proporción de madera juvenil, al tiempo que, reiterando el efecto que juega la edad de rotación sobre la densidad de la madera, indican que el tiempo de corta es una importante herramienta para controlar las cualidades de la madera debido a su efecto sobre el porcentaje de madera joven y porque, a medida que el rodal envejece, la proporción de dicha madera disminuye rápidamente. De acuerdo con lo expuesto, estos autores recomiendan que la forma más efectiva de modificar las propiedades de la madera de coníferas es cambiar la edad de rotación.

Aquella sección del fuste ubicada en la copa viva, presenta principalmente madera temprana, en cambio la sección del fuste libre de ramas vivas, presenta una mayor proporción de madera tardía (Delmastro *et als.*, 1980). Continúa esta fuente señalando que; en virtud de lo anterior, un raleo que estimula el crecimiento de la copa viva, mantiene una mayor proporción de madera temprana, especialmente a baja edad del rodal. Por el contrario, en el fuste libre de ramas vivas, se favorece tanto la madera

temprana como la tardía, manteniendo una proporción favorable. Es así que medidas que disminuyan la copa viva; como pueden ser las intervenciones de poda, posibilitan una mayor proporción de madera tardía y por lo tanto, una mayor densidad de la madera (Larson, 1962; Cown, 1973). Para Zobel y Talbert (1988), el silvicultor tiene la libertad de manipular el bosque para promover el crecimiento sin que altere considerablemente el peso específico de los árboles producidos. Citando a Lowery y Schmidth (1967) y a Parker *et als.* (1973), esta fuente señala que se ha demostrado que el aumento de crecimiento posterior al aclareo produce madera con peso específico normal o incluso más alto. Comentando en el mismo sentido, Melo¹³ informa que el suministro de madera a una planta de celulosa es bastante variable y consta de los sustratos de raleo, madera de tala rasa, despunte de tala rasa y astillas de aserradero. Continúa el autor, afirmando que estos sustratos están muy relacionados con la edad fisiológica de la madera, pues al cortar una u otra porción de un árbol, se están segregando las distintas zonas de densidad y longitud de fibra; que son una consecuencia de la edad. Por ejemplo, agrega al mismo tiempo, el raleo comercial y el despunte de rollizos consisten casi enteramente de madera juvenil. Las astillas de aserradero provenientes de lampazos, poseen proporcionalmente más madera madura, en tanto que la tala rasa se ubica entre estos dos extremos y, dependiendo de la edad, se inclinará hacia uno u otro lado.

En determinados sitios, y en relación al caso anterior, un raleo puede alargar el período vegetativo a raíz de la menor competencia por luz, agua y elementos nutritivos entre árboles, favoreciendo así la formación de madera tardía (Higgs y Rudman, 1973).

Finalmente, según Brun (1965), si se controla el crecimiento en diámetro mediante un manejo apropiado con el fin de obtener un determinado ancho de anillo y; considerando que esta variable determina en gran medida la densidad de la madera, se logran los siguientes beneficios:

¹³ Melo, R., 1995. Profesor Titular. Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Concepción.

- a) homogeneidad en la estructura, sin tensiones irregulares en el secado por diferentes coeficientes de contracción volumétrico,
- b) alza de la calidad estructural, por poseer una resistencia mecánica pareja.

2.3 Longitud de traqueida de la madera.

2.3.1 Concepto de longitud de traqueida. El largo de traqueida en coníferas, denominado también, y erróneamente, largo de fibra, es considerada una de las características más importantes de la madera; especialmente por su efecto en las resistencias y características superficiales del papel, así como en la resistencia al rasgado y al dobléz (Casey, 1960; Daniel *et als.*, 1982). Es así como Dadswell y Nicholls (1959), citados por Delmastro *et als.* (1980), concluyen que el largo de traqueida, la densidad y la contracción longitudinal son las tres determinaciones que entregan prácticamente casi toda la información requerida de una madera. Otros autores consideran, junto a la densidad y el largo de traqueida, el grano espiralado y el porcentaje de madera tardía (Dadswell (1960), citado por Delmastro *et als.*, 1980). La relativa facilidad para determinarla y por ser la dimensión que proporciona la información más útil, el largo de traqueidas es generalmente incluida en todos estudios técnicos relacionados con pulpa y papel (Einspahr, 1964).

Las correlaciones del largo de traqueidas con otras características de la madera, hacen deseable obtener árboles con traqueidas tan largas como sea posible, ya que éstas no sólo son importantes en la producción de papel, sino que también significan ángulos fibrilares más pequeños y contracciones longitudinales menores (Harris (1965), citado por Delmastro *et als.*, 1980).

Según Tamolang y Wangaard (1961), citados por Chesney (1970), la literatura antigua (1904-1920) pone bastante énfasis en la importancia del largo de traqueidas en la fabricación del papel, influido por el concepto ampliamente difundido de que la resistencia del papel se asocia fundamentalmente con la longitud de fibra.

La correlación que existe entre el largo celular y la resistencia al rasgado, a la explosión y a la ruptura, son altas; de manera que el uso de traqueidas largas representa una ventaja en lo que se refiere a la resistencia al papel, lo que se debe a que es la longitud de las traqueidas lo que permite un mayor entrecruzamiento y por lo tanto, una mayor resistencia de los papeles y pastas que con ellas se fabrican (Stephenson (1950), citado por Chesney, 1970). Por otro lado, traqueidas cortas de Pinus radiata D. Don, se caracterizan por ser poco flexibles y de gran rigidez; conservando su forma tubular durante la formación de la lámina de pulpa, produciendo un papel resistente al impacto y a la ruptura, de baja densidad, altamente opaco, no uniforme y con una superficie áspera (Karth (1967), citado por Chesney, 1970).

Melo et als. (1988) reconocen que algunas fibras son mejores para la fabricación del papel; lo que dependerá de su uso final. Sin embargo, prosigue la fuente, en Chile la información existente acerca de la influencia de las características de las fibras sobre las propiedades de la hoja, son más bien limitadas.

2.3.2 Variabilidad de la longitud de traqueida.

2.3.2.1 Variabilidad dentro del árbol. Conocer las tendencias de variación del largo de traqueidas dentro de cada especie es de vital importancia en los estudios que incluyen esta característica (Delmastro et als., 1980). La longitud de células es muy variable entre especies tanto en rango como en promedio (Stamm, 1964). Por lo general, las especies coníferas son de células más largas que las especies latifoliadas, manteniendo cierta similitud en los patrones de variación dentro del fuste (Casey, 1966). Al respecto, Melo¹⁴ considera que las primeras -conocidas también como de fibra larga- tienen longitudes de traqueidas que oscilan entre 2,0 mm y 7,0 mm; en tanto que las latifoliadas, catalogadas como de fibra corta, muestran longitudes de fibra entre 0,5 mm y 2,0 mm.

¹⁴ Melo, R., 1995. Profesor Titular. Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Concepción.

Esto, en ocasiones con leves diferencias, es confirmado por otros investigadores (Stamm, 1964; Rydholm, 1965; Higgins, 1973). Rydholm (1965), por ejemplo, señala que la longitud de traqueida en coníferas varía entre 1 mm y 11 mm y usualmente, las maderas comerciales más importantes de esta Subdivisión varían entre 2 mm y 5 mm.

Jane (1956), citado por Chesney (1970), informa que la variación de las traqueidas ha sido motivo de investigación desde Sanio (1872) y De Bary (1884).

Precisamente, citando a Sanio (1872); Delmastro *et als.* (1980) afirman que es aceptado que el largo de traqueidas aumenta desde la médula a la corteza y la mayoría de las investigaciones en numerosas especies confirman un incremento fuerte en los primeros anillos, tendiendo a estabilizarse posteriormente o a descender hacia la corteza (Ulloa, 1962; Dinwoodie, 1961; Richardson, 1961; Taylor, 1963; Julio, 1962; Dinwoodie (1963), citado por Julio, 1962; Julio, 1965; Wheeler *et als.*, 1966; Jane (1956), citado por Chesney, 1970; Uprichard (1971), Harris (1965), Duffield (1964), citados por Delmastro *et als.*, 1980; Daniel *et als.*, 1982; Hartig (1892), Bertog (1895), Hartig (1898), Mork (1928), Helander (1933), Schultze-Dewitz (1959), Atmer (1982), Kucera (1989), citados por Kärenlampi, 1992a). Melo *et als.* (1988) reportan que normalmente se encuentra una variación de las células traqueidas; la que responde a un incremento de la longitud en el sentido radial, siendo tal crecimiento muy pronunciado en los 10 a 15 primeros anillos anuales, período tras el cual éste se reduce. Melo¹⁵ ratifica lo anterior, precisando que en especies coníferas de rápido crecimiento se presenta un aumento acentuado de la longitud de traqueida en los primeros 15 a 20 años con tendencia a la estabilización. Por otro lado, Reid (1959), citado por Morales (1968); trabajando con *Pinus radiata* D. Don neocelandés, concluye que la longitud de traqueida aumenta con el radio o distancia desde el centro del árbol hasta aproximadamente el decimoquinto anillo anual. Por su parte, Dasdwell (1958), citado por Ulloa (1962); trabajando con *Pinus radiata* D. Don

¹⁵ Melo, R., 1995. Profesor Titular. Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Concepción.

australiano, determinó que la edad del anillo en que se estabiliza el largo de traqueida fluctúa entre 12 y 15 años, rango de edad sugerido por la fuente para las plantaciones chilenas de esta especie.

En Pinus radiata D. Don chileno la variación presenta también un incremento hacia la corteza, como se demuestra en los trabajos de Uprichard y Gray (1973), Cown (1975), Ortiz (1965), Paz y Melo (1965), Paz y Ceballos (1966), Melo et als. (1988), Martínez y Pacheco (1990), Morales (1968) y Richardson (1964), citado por Delmastro et als. (1980).

Dadswell (1957), citado por Morales (1968), indica para Pinus radiata D. Don, que el aumento de la longitud de traqueida desde médula a corteza es tan característico y determinado, que la longitud inicial de la traqueida en madera de árboles muy jóvenes puede tomarse como índice de la longitud media de la fibra de árboles adultos que, con toda probabilidad, se producirá posteriormente.

La longitud de traqueidas tiene gran variabilidad no sólo en diferentes posiciones en el árbol sino también dentro de un incremento anual (Jurbergs, 1968). En cualquier anillo el promedio del largo de traqueidas se hace mayor desde la mayor madera temprana a la madera tardía, siendo el incremento lineal sólo en los anillos cercanos a la médula. En los anillos externos se pierde la linealidad de la variación intraincremental, como se reconoce en las investigaciones efectuadas en Pinus radiata D. Don; que indican un largo de 0,5 mm mayor para madera tardía que para madera temprana (Taylor, 1963; Kennedy, 1966; Cown, 1975).

Gery (1916), citado por Chesney (1970), estudiando las maderas de Pinus palustris y Pseudotsuga menziesii, encontró que luego de un máximo en el largo de traqueidas, éste disminuyen significativamente con la edad.

En diferentes alturas de Picea sitchensis, la variación del largo de fibra en el diámetro mantiene la tendencia de aumentar hacia la periferia, aun cuando la tasa de incremento es

mayor a medida que se toman alturas mayores en el fuste (Richardson, 1961). Sanio (1872), citado por Ulloa (1962) y Daniel *et als.* (1982), afirman que la longitud de traqueida varía desde la base al ápice, aumentando hasta una cierta altura (según especie), para decrecer posteriormente hacia el extremo.

France y Mexal (1980), citados por Zobel y Talbert (1988), han demostrado en Picea engelmannii y Pinus contorta un patrón de variación hacia arriba del árbol, que indica traqueidas más cortas en la base, más largas en el centro y, nuevamente, más cortas cerca de la copa. Similar comportamiento es ratificado por Richardson (1964a), citado por Delmastro *et als.* (1980), quien sostiene que el largo de fibras aumenta desde la base hasta un tercio de la altura del árbol y luego decrece nuevamente, en tanto que en los anillos cercanos a la médula, éste casi no varía en las distintas alturas en el fuste. Por su parte, Melo¹⁶ reconociendo la existencia de una variación en función de la altura, observa que, en general, la longitud promedio de las traqueidas aumenta hasta la mitad de la longitud total del árbol. Kärenlampi (1992a), citando a numerosos investigadores, sugiere un rango amplio de variación en la dirección longitudinal del árbol, observando que la longitud de las traqueidas, primero aumenta hasta un 15% a 70% de la altura, para decrecer hacia la copa en los anillos anuales exteriores (Hartig, 1892; Bertog, 1895; Mork, 1928; Schultze-Dewitz, 1959; Atmer, 1962; Kucera, 1989). Ortiz (1965), estudiando el fenómeno, determina que para Pinus radiata D. Don de 17 años la máxima longitud celular se alcanza a una altura de 7,3 m sobre el nivel del suelo. Dinwoodie (1963), citado por la fuente precedente, señala que este máximo se ubicaría progresivamente hacia las partes más altas del fuste a medida que se aumenta la distancia al eje central del árbol y de acuerdo al ritmo de crecimiento de éste. Schenstron (1935), citado por Tortorelli (1943), indica que en Tsuga heterophylla, las traqueidas más cercanas a la médula son más pequeñas, aumentando su longitud hacia la periferia del

¹⁶ Melo, R., 1995. Profesor Titular. Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Concepción.

tronco, excepto en la sección basal donde la longitud de la misma es uniforme. Hacia la copa del árbol en tanto, la longitud se hace progresivamente mayor.

En distintas alturas en el fuste, anillos de idéntica posición desde la médula mostraron en Pinus radiata D. Don variaciones relativamente pequeñas, especialmente en los anillos más cercanos a la médula (Ortiz, 1965). Según Delmastro *et als.* (1980), las variaciones de las distintas posiciones en el diámetro a una altura dada, son notoriamente mayores que las que se encuentran en altura para una posición dada en el diámetro.

Las causas de variación han sido explicadas por Chalk (1957) y Kennedy (1957); ambos autores citados por Chesney (1970). El primero se refiere al largo de la célula cambial inicial y, basado en experiencias de Bayley (?), expresa que en árboles de rápido crecimiento, la célula inicial debe dividirse rápidamente para armonizar con la velocidad de crecimiento circunferencial (divisiones que para un gran número de células son del tipo anticlinal), generando finalmente, un bajo promedio de longitud de traqueidas producidas por el cambio. Prosigue la cita, afirmando que lo contrario ocurrirá en árboles de crecimiento lento; ejemplares que no incrementan en diámetro tan rápidamente y sólo unas pocas de sus células se originan por divisiones anticlinales, teniendo entonces un promedio de largo celular superior al de árboles de mayor tasa de crecimiento. Dentro del mismo análisis, encontramos a Bannan (1967), citado por Zobel y Talbert (1988), quien afirma: “al parecer cualquier tratamiento ambiental que hace que un árbol de conífera crezca más rápido; da como resultado células más pequeñas”. Esto ha sido explicado haciendo alusión a la rapidez con que ocurren las divisiones transversales de las células iniciales del cambium, lo cual impide que la célula alcance su longitud total antes de que ocurra otra división celular. Concluye la fuente señalando que las células iniciales del cambium de árboles de crecimiento lento, tienen tiempo suficiente para alcanzar su longitud normal. Para Morales (1968), se tiende a suponer que aquellos árboles de rápido crecimiento deberían tener traqueidas más cortas debido a la rápida división celular, sin embargo, sus resultados le llevan a concluir que; al parecer, el menor vigor de los árboles de sitios pobres lleva consigo un menor largo de traqueidas. Anderson

(1951), citado por Ulloa (1962), ha demostrado que en algunas especies de coníferas, el ancho de anillo de crecimiento no influye en la variación del largo de traqueidas, o su incidencia es muy pequeña.

El segundo aspecto que; según la cita de Chalk (1957) realizada por Chesney (1970), tiene influencia sobre el largo de las fibras, es la elongación que experimentan las células hijas después de haber sido originadas por el cambium. Este factor tiene gran importancia en especies latifoliadas, en donde la elongación post-cambial alcanza, a veces, valores de hasta 400%. Afirma el autor que de ahí el largo de fibras podría estar determinado en gran medida por el tiempo que dura la diferenciación. De ser cierta esta última afirmación, el largo de fibras en especies latifoliadas es independiente del efecto que el rápido crecimiento podría tener sobre el tamaño que posee la célula inicial cambial y el mayor porcentaje de variación sería atribuible a la edad de los ejemplares (Chesney, 1970). Del mismo modo, trabajando sobre tres híbridos de álamo, Julio (1962) concluye que la velocidad de crecimiento -representada por diferencias de diámetro para una misma edad- parecerían no tener efecto sobre el largo de fibras.

Panshin *et als.* (1964), citado por Chesney (1970), también refiere sus explicaciones sobre el crecimiento en longitud de las fibras a la edad y lo hace basándose en dos fenómenos. Primero, el que las células iniciales cambiales son más grandes a mayor edad y, segundo; que parece existir una elongación post-cambial de gran proporción en los árboles de cierta edad. De lo mismo, Chesney (1970) concluye para su estudio sobre Canelo, que el largo de fibras en esta especie nativa chilena dependería de la edad de los árboles, es decir, es función del número de generaciones cambiales.

Para Melo¹⁷, una explicación generalizada de las causas de los cambios en longitud de las fibras en la sección transversal del fuste se basa en la maduración o cambios con la edad asociados a las células iniciales. La división original de la célula cambial debería originar

¹⁷ Melo, R., 1995. Profesor Titular. Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Concepción.

dos células de igual longitud; sin embargo, se ha demostrado que las fibras derivadas no son siempre iguales en longitud y que la más larga está favorecida para proseguir como célula inicial porque exhibe un mayor número de contactos con los rayos y, por ello, tiene un mejor funcionamiento. Continúa informando: “la longitud promedio de las fibras depende de la velocidad de subdivisión y el porcentaje de sobrevivencia de las células. En los primeros años de crecimiento, la velocidad de subdivisión es rápida y la sobrevivencia es alta, resultando una longitud promedio menor. Esto se conoce como patrón juvenil. Ambas condiciones disminuyen con la edad; lo que produce longitudes mayores”.

Refiriéndose también al desarrollo del diámetro y espesor de pared de las traqueidas, Panshin *et als.* (1964), citado por Chesney (1970), suponen que las auxinas -aparte de proveer los estímulos para el desarrollo de la célula- determinan el tamaño de cualquier traqueida por la cantidad en que esta sustancia llega a la célula en los momentos de su diferenciación. Del mismo modo, Ortiz (1965), quien; advirtiendo sobre las variaciones del largo de traqueida con la altura y distancia desde la médula, explica que las células estarían sometidas a una fase de elongación paulatina para llegar hasta un máximo; luego del cual permanecerían constantes; atribuyendo tal tendencia a la influencia del ancho de los anillos de crecimiento para una misma edad del cambium así como al ritmo de división de las células cambiales debido a la mayor o menor producción de auxinas.

Para Morales (1968), con la edad se manifiesta un aumento diametral en el fuste que conllevará un acrecentamiento del largo de fibra promedio para una sección de él. Este comportamiento es ratificado por Melo *et als.* (1988), quienes concluyen que la longitud de traqueida en Pino Insigne tiende a aumentar en proporción directa con respecto al diámetro del fuste. Morales (1968) por su parte, afirma que la proporción de madera de verano crece con la edad y sus traqueidas son por lo común, más largas que la madera de primavera en un mismo anillo anual, lo que constituye otra explicación del aumento del largo de traqueida con la edad. Ulloa (1962) explica el aumento que experimenta el largo de traqueida desde médula a corteza -hasta una edad en que dichos elementos se estabilizan- por el hecho que la parte central del árbol se encuentra formada por madera

juvenil en la que se desarrollan cambios en la forma, estructura y disposición de las células, los que pasado este período, cesan; para dar paso al crecimiento de los elementos anatómicos componentes (vasos, etc.). Daniel *et als.* (1982), plantean que la madera juvenil posee especiales características que la distinguen de la madera adulta, señalando que la menor longitud de la célula leñosa es una de ellas. Díaz-Vaz (1981), Melo *et als.* (1988) y Zobel y Talbert (1988), coinciden con tal apreciación; a la que se agrega la de Kärenlampi (1992a), quien; citando a numerosos investigadores, reporta que la longitud de traqueidas juveniles es, en promedio, un 40% a 80% del largo de traqueidas de madera adulta. Trabajando con madera de Pino Insigne, Melo *et als.* (1988) determinaron menor longitud y mayor ancho de traqueida en la madera juvenil en comparación con su madera madura.

Wellwood (1960) en madera de *Tsuga heterophylla* determinó que la edad del anillo tiene una influencia muy significativa en el largo de traqueida, encontrándose también en *Pinus elliottii* var. *elliottii* una correlación positiva al respecto, de acuerdo a Dadswell y Nicholls (1959); ambas fuentes citadas por Morales (1968).

El proceso de elongación de las traqueidas, además se encuentra bajo la influencia de la actividad del meristema apical y otros efectos directos de la luz y temperatura; lo cual afecta la velocidad de la división cambial (Richardson (1960), Larson (1960), Nicholls y Dadswell (1962), citados por Chesney, 1970).

2.3.2.2 Variabilidad entre árboles del rodal. Un gran número de investigadores, citados por Delmastro *et als.* (1980), demuestran las fuertes diferencias que existen entre árboles dentro del rodal.

Para Zobel y Talbert (1988), la variabilidad que existe de un árbol a otro, en lo que respecta a la característica de la longitud promedio de las fibras o traqueidas, es similar a la variación del peso específico

La variación del largo de traqueidas en Pinus serotina es notablemente mayor entre árboles de un rodal y entre rodales que entre localidades; donde no se encontraron diferencias significativas. La variación en Pinus rigida fue, por otra parte, tan fuerte entre árboles como lo fue entre rodales y entre localidades de acuerdo a respectivos estudios de Mc Elwee y Zobel (1962) y Ledig et als. (1975), citados por Delmastro et als. (1980).

Citando a Harris (1965), la misma fuente señala que para Pinus radiata D. Don creciendo en Nueva Zelanda también se han detectado fuerte variaciones entre árboles. Considerando separadamente madera juvenil y madera madura en Pinus taeda, Wheeler et als. (1966), encontraron diferencias significativas para ambos casos. Las relaciones entre largo de traqueidas de madera juvenil y madura no son constantes (Delmastro et als., 1980). Si la madera juvenil tiene fibra más larga que lo esperado, la madera madura no tiene que tener, necesariamente, fibras proporcionalmente más largas (Wheeler et als., 1966). En Pinus radiata D. Don se sugiere que los árboles producen traqueidas con un rango característicamente variable entre ellos (Harris (1965), citado por Delmastro et als., 1980). Por otra parte, en esta misma especie creciendo en Chile, se menciona que la posición sociológica del árbol tiene relación con la longitud de fibra. Es así como los árboles dominantes mostraron traqueidas más largas que los árboles dominados (Paz y Ceballos, 1966). Este mismo comportamiento ya había sido observado por Schenstron (1935), citado por Tortorelli (1943), quien en un interesante trabajo sobre Tsuga heterophylla de EE.UU. de Norteamérica, apunta que en una misma especie, la longitud de traqueida es diez a quince por ciento mayor en los árboles del estrato arbóreo superior o dominante, al tiempo que un aumento en la rapidez de crecimiento diametral del tronco, trae aparejado un acortamiento de las traqueidas, particularmente en los árboles dominantes. Por otra parte, continúa la cita, en estos árboles las traqueidas de primavera son más largas que las del leño tardío, en cambio, en árboles dominados sucede lo contrario, aunque la diferencia es este caso no es muy notable.

2.3.2.3 Variabilidad entre rodales y localidades. Al igual que la densidad; en la mayoría de las coníferas la variabilidad del largo de traqueidas entre rodales, normalmente se encuentra confundida o encubierta por la variabilidad entre árboles del mismo rodal (Delmastro et als., 1980). La misma fuente cita algunas excepciones a esto descritas en la literatura, especialmente en especies del Sur-Este de los EE.UU. de Norteamérica.

El conocimiento de estas formas de variación es de fundamental importancia en el mejoramiento genético del largo de fibras cuando se hacen selecciones de individuos superiores y especialmente cuando se colecta semilla de árboles semilleros en rodales de la misma localidad (Delmastro et als., 1980).

Respecto a la diferencia del largo de traqueidas entre localidades, no existe mucha información en coníferas. En un resumen sobre datos disponibles de heredabilidades de las características de las fibras, tanto de coníferas como de latifoliadas, Smith (1966) cita a Echolls (1958), quien encontró diferencias altamente significativas en el largo de fibras entre 15 procedencias de Pinus sylvestris creciendo en un mismo lugar. En Pinus pinaster, se estableció diferencias para este carácter entre cuatro razas geográficas, pero los autores concluyeron que estas diferencias no eran lo suficientemente grandes como para tener un efecto en la progenie a través de una selección de razas (Nicholls et als. (1963), citados por Delmastro et als., 1980).

Morales (1968), al estudiar el sitio como causa de variación, afirma que éste influye notoriamente en el largo de fibras. La variación se produce de tal modo, que frente a una misma edad; los buenos sitios poseen árboles con longitudes celulares mayores que individuos de sitios pobres. Resultados semejantes determinan Martínez y Pacheco (1990) trabajando con Pinus radiata D. Don en tres diferentes sitios, esto es, arcilla, arena húmeda y arena seca. Sin embargo, según Morales (1968), la mayoría de los trabajos efectuados en coníferas para analizar la influencia del sitio sobre la longitud de fibras, han concluido que no existe variación significativa producto de esta influencia. En la misma cita, el autor destaca dos excepciones a lo anterior. La primera, son los trabajos de Echolls (1955) en Pinus sylvestris, en donde comprobó que las traqueidas más cortas

están asociadas a una baja rapidez de crecimiento y, la segunda; investigaciones de Dinwoodie (1963), quien analizando el largo de traqueida en Picea sitchensis, concluye que rapidez de crecimiento es la más importante variable que influye en esta longitud, en especial pasado los quince años de edad.

En un muestreo intensivo de 2800 árboles de Pinus radiata D. Don en Nueva Zelandia, se sugiere que existe una tendencia al aumento de largo de traqueidas desde el Sur hacia el Norte; esto es, una correlación negativa con latitud (Harris (1965), citado por Delmastro et als., 1980). En otro estudio menos intensivo realizado en cuatro zonas de Chile, se determinó un leve aumento del largo de traqueidas hacia el Sur en árboles de 21 años de edad; aparentemente estas diferencias son menores a edades más jóvenes. La diferencia global del largo de traqueidas entre los cuatro sitios y las tres edades estudiadas, fue de 1,13 mm, es decir, entre 2,0 mm y 3,13 mm (Paz y Ceballos, 1966).

Refiriéndose a especies forestales del hemisferio Norte, Zobel y Talbert (1988), afirman que, tal como en el caso de peso específico, la longitud de traqueida disminuye en árboles que crecen en latitudes más altas.

La variabilidad del largo de fibras entre procedencias de Pinus radiata D. Don, se definió como de gran importancia para diferenciar procedencias naturales de la especie en Nueva Zelandia, comparado con orígenes locales de semillas (Burdon y Harris, 1973).

2.3.3 Herencia de la longitud de traqueida. Ha sido demostrado que un 20% de aumento de largo de traqueidas; aumenta un 15% la resistencia a la ruptura del papel en Pinus radiata D. Don (Kibblewhite (1972), citado por Burdon y Harris, 1973). Por ello, muchas de las investigaciones en genética forestal actualmente están considerando incluirla dentro de los caracteres a seleccionar (Delmastro et als., 1980).

La variación del largo de traqueidas, tanto entre rodales de una misma especie como entre árboles del mismo rodal y dentro de un árbol, es bastante grande. Se sabe que gran

parte de la variabilidad del largo de traqueidas es de origen genético, especialmente aquellas diferencias producidas entre árboles de un mismo rodal (Goggans, 1964; Smith, 1966; Blair *et al.*, 1974; Zobel (1961), Zobel *et al.* (1962), Harris (1965), citados por Delmastro *et al.*, 1980).

La evidencia que el largo de traqueidas está correlacionado genéticamente con otras propiedades de la madera, como por ejemplo, densidad; aún no está muy clara (Hunter y Goggans, 1969). En *Pinus elliotii* se encontró que la correlación entre densidad y largo de fibras no fue significativa (Zobel *et al.* (1962), Saucier y Dorman (1969), citados por Delmastro *et al.*, 1980), en tanto que para *Pinus taeda*, tal correlación no fue muy clara (Goggans, 1964).

Delmastro *et al.* (1980) plantean que el largo de traqueidas es un rasgo altamente heredable y, por lo tanto, debe responder rápidamente a programas de selección. En realidad, esta propiedad es considerada como una de las propiedades más fáciles de mejorar genéticamente, especialmente en lo referente al largo de traqueidas de la madera tardía (Blair *et al.*, 1974; Mc Elwee (1963), citado por Delmastro *et al.*, 1980), la que muestra una alta heredabilidad en *Pinus taeda* (Goggans, 1964).

2.3.4 Influencia del medio sobre la longitud de traqueida. La longitud de traqueida es una característica influenciada por el medio, esto es: clima, fertilidad del suelo, manejo silvícola, etc. (Delmastro *et al.*, 1980; Cown (1980), citado por Melo *et al.*, 1988).

Entre los factores de clima, uno de los que más afecta el largo de traqueidas es la temperatura. En diferentes investigaciones se ha determinado que el aumento de la temperatura favorece un mayor largo de traqueidas, lo que se comprobó en: *Picea sitchensis*, *Pinus rigida*, *Pseudotsuga menziesii*, *Populus deltoides* y *Pinus nigra* (Posey *et al.*, 1969; Cown, 1974b; Duffield (1964), Richardson (1964a), Ledig *et al.* (1975), citados por Delmastro *et al.*, 1980). Esto explica que a menores latitudes y menores

elevaciones existe un mayor posibilidad de encontrar mayores largos de fibras en una especie determinada (Harris (1965), Richardson (1964a), Ledig *et als.* (1975), citados por Delmastro *et als.*, 1980).

En contraposición a la densidad y el grosor de la pared celular, mayores temperaturas tanto diurnas como nocturnas, especialmente esta última, favorecen el largo de fibra (Richardson (1965a), Richardson y Dinwoodie (1965), citados por Delmastro *et als.*, 1980).

También favorece un mayor largo de fibra un período vegetativo más prolongado, mayores precipitaciones, suelos con mayor disponibilidad de agua y, en general, los suelos más fértiles (Delmastro *et als.*, 1980). El aumento así producido, sin embargo, no siempre alcanza significación e importancia práctica (Hamilton y Harris, 1965; Hunter y Goggans, 1969; Richardson (1964a), Necesary (1971), citados por Delmastro *et als.*, 1980).

Medidas de mejoramiento del suelo (como una fertilización mineral), también pueden afectar el largo de fibra. En diferentes ensayos se determinó que la fertilización con los elementos mayores (nitrógeno, fósforo y potasio), produjo una tendencia temporal a disminuir levemente el largo de fibra, sin embargo, esta tendencia no tuvo significación estadística ni práctica (Higgs y Rudman, 1973; Zobel *et als.* (1961), Seibt *et als.* (1968), citados por Delmastro *et als.*, 1980).

La tasa de crecimiento de los árboles aparentemente aumenta el largo de traqueidas (Paz y Ceballos, 1966; Cown, 1974a; Richardson (1964a), citado por Delmastro *et als.*, 1980), lo que estaría de acuerdo con lo manifestado anteriormente en relación a la calidad del sitio. Esto coincide con antecedentes sobre relación entre largo de fibras y la posición sociológica del árbol en el rodal. Los árboles dominantes con mayor tasa de crecimiento en comparación a los codominantes y dominados, presentan en Pinus radiata D. Don creciendo en Chile un mayor largo de fibra (Paz y Ceballos, 1966). Sin embargo, una tendencia contrapuesta en relación a la tasa de crecimiento, fue determinada en Pinus

taeda en el Este de Estados Unidos de Norteamérica (Zobel et als. (1960), citado por Delmastro et als., 1980).

Dentro de cualquier rodal, la longitud de las traqueidas no se correlaciona en esencia con las tasas de crecimiento inherentes de los árboles individuales, haciendo posible de esta manera tener traqueidas cortas o largas, independientemente de si los árboles son genéticamente de crecimiento rápido o lento (Zobel y Talbert, 1988). Destaca la fuente citada, que en el caso de la mayoría de las especies de pino y el Abeto Douglas, el aumento de la tasa de crecimiento -resultado de la manipulación ambiental- produce traqueidas más cortas, pero la longitud es independiente del potencial genético para la tasa de crecimiento. Algunas veces el patrón se invierte, como en el caso de las especies latifoliadas, en las que los árboles de crecimiento más rápido poseen fibras más largas. Finalizan los autores, señalando que tal relación ha sido demostrada en Populus ssp. por Kennedy (1957), Einspahr y Benson (1967) y varios otros.

Las intervenciones silviculturales también influyen sobre el largo de traqueidas, aun cuando su influencia directa no es muy pronunciada. Así, la poda prácticamente no afecta esta característica de la madera, favoreciéndola sólo levemente (Cown, 1973). El raleo fuerte, en cambio, provoca disminución en el largo de traqueidas. Este último efecto, combinado con un acortamiento del período de rotación a raíz del raleo, puede significar una disminución del largo de fibra de un diez o más por ciento (Cown, 1973 y 1974a).

En relación al efecto de las actividades culturales sobre la longitud de traqueida, Zobel y Talbert (1988), han encontrado que si se induce a un pino a crecer más rápido mediante el aclareo o fertilizaciones, las traqueidas producidas durante el período de crecimiento acelerado son un poco más pequeñas que las formadas durante el período de crecimiento normal. Sin embargo, continúan los autores, esta respuesta es hacia un estímulo ambiental repentino o artificial y disminuye gradualmente al cabo de pocos años.

2.4 Coarseness de madera.

2.4.1 Concepto de coarseness. En la caracterización de la morfología de la fibra, un número importante de factores puede ser tomado en cuenta; siendo uno de ellos, el peso por unidad de longitud o "coarseness de fibra" (Britt, 1966). El concepto ha sido discutido por Clark, d'A. (1962) y aplicado en los estudios de Fuentealba (1985); Melo *et als.* (1988); Martínez y Pacheco (1990) y Melo¹⁸. El último investigador referido, aclara que dicho término corresponde a una acepción inglesa cuya traducción al español no está establecida.

Esta propiedad de las células conjuga la relación longitud/diámetro y la morfología de la sección transversal (Melo¹⁹). Casey (1960), al estudiar el concepto, lo define como una razón entre longitud y diámetro de la fibra. Incluye este factor, agrega, los efectos del grosor de la fibra, el tamaño del canal central o lumen y la densidad del material sólido que la compone. Por otra parte, Martínez y Pacheco (1990), señalan que el índice de coarseness representa el espesor de pared de la fibra y, de acuerdo a Delmastro *et als.* (1980), al igual que otras dimensiones celulares, expresa en términos morfológicos la cantidad y distribución de la sustancia celular en el volumen de madera, influyendo en la mayoría de sus propiedades y, por ende, en la calidad y posibilidades de uso de este material, teniendo especial relevancia en la madera destinada a la producción de pulpa y papel. En este sentido, Casey (1960) apunta: "puesto que los fabricantes de papel manejan más bien la pulpa en dimensiones de peso, el registro de pesos promedios de fibra por unidades de longitud de ésta, parece ser mucho más razonable que un simple promedio aritmético de tal longitud".

Melo²⁰ indica: "la sección transversal debe considerar el espesor de la pared radial y tangencial de la fibra y el diámetro del lumen; siendo cada uno de estos parámetros relativo respecto de los otros". En el mismo sentido, Fuentealba (1985) afirma que el

^{18,19,20} Melo, R., 1995. Profesor Titular. Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Concepción.

coarseness de una fibra depende, en gran medida, de la diferencia entre el área de su sección transversal completa y la de su lumen o canal central.

Las afirmaciones precedentes obligan a precisar las diferencias entre el ancho de la pared radial y el ancho radial de la pared; lo que nos lleva a distinguir en las secciones transversales de la célula, la dirección radial y tangencial. (Delmastro *et als.*, 1980). Según estos autores, el ancho de la pared radial se refiere al grosor de la pared orientada radialmente de médula a corteza; el ancho radial de la pared en cambio, mide el espesor de la pared orientada tangencialmente, es decir, se mide en la dirección radial.

El término aquí tratado, ha sido aplicado en el estudio de fibras textiles (Britt, 1966), siendo un atributo de las fibras no muy apreciado todavía (Melo²¹). Esto último es reconocido por Casey (1960), al afirmar que el coarseness de la fibra ha sido, en cierto modo, un concepto desatendido en la medición de la calidad de la pulpa. En años recientes, continúa la fuente, su importancia ha recibido gran atención con el desarrollo de confiables métodos de medición. Se reconoce ahora, concluye este autor, a ciertas fibras -como el bagazo- por lo regular, cortas, pero con excelente relación longitud/diámetro, como un muy buen material para fabricar papeles. Agrega Britt (1966), por su parte, que la cantidad de sustancia por unidad de longitud, es un factor de gran importancia en la clasificación de fibras textiles, y podría tener mucha relevancia en el tratamiento de fibras papeleras.

El coarseness de la fibra textil se expresa por medio de un denominador común; que refleja los gramos de 9000 metros de filamento o, a través de un denominador internacional: "Grex", que expresa los gramos de 10000 metros de filamento; actualmente denominado "Tex" (Fuentealba, 1985).

En relación a las fibras papeleras, Clark d'A (1962) y Britt (1966), expresan coarseness en unidades de miligramos por 100 metros de longitud. La primera fuente, define

²¹ Melo, R., 1995. Profesor Titular. Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Concepción.

coarseness de la fibra de madera, como: "el peso por una cierta longitud conveniente como para dar una cifra manejable, específicamente; el peso en miligramos por cada 100 metros de longitud". El valor lo llama "decigrex" (dg), afirmando que está influido por el espesor de la pared, su densidad y el diámetro de la fibra. Tal influencia es mencionada también por Fuentealba (1985).

Según el último autor, el coarseness de la fibra de madera varía entre 30 dg y 10 dg. Por su parte, Casey (1960) afirma que el coarseness de la fibra tiene un valor cercano a 20mg/100m; mientras que los "finos" de la madera alcanzan un valor cercano a 10mg/100m. Se puede demostrar que en el rango de longitudes y pesos promedio de diferentes fibras de madera, existe una buena relación entre el largo de una fibra y su espesor de pared (Melo²²). Por otro lado, para Wheeler *et al.* (1966), árboles con traqueidas más largas no necesariamente tienen traqueidas más anchas. Precisión con la cual Fuentealba (1985) no parece coincidir, al señalar que las fibras más largas de pulpa de madera son casi invariablemente, las más gruesas.

El test para la medición del coarseness de la fibra más aceptado es el Método TAPPI, el cual se basa en una medición de la longitud total de las fibras de una muestra de peso conocido (Casey, 1960). Esencialmente este método se aplica para una pulpa de peso conocido y de baja consistencia, recogiendo las fibras por centrifugación y distribuyéndolas sobre una placa de vidrio para posteriormente proyectar la imagen sobre un retículo. La longitud total puede ser medida por el registro de la longitud de cada fibra o por el conteo del número de veces que las fibras cruzan tal retículo (Brady *et al.*, 1956). Por último, la determinación del valor definido sigue una metodología normalizada bajo TAPPI T 234 cm-84 (Tappi Test Methods, 1989).

Es importante considerar que el coarseness determinado en madera difiere del coarseness determinado en pulpa debido a factores que dependen del rendimiento (Britt, 1966). La misma fuente agrega que en tratamientos químicos, el número de fibras por gramo de

²² Melo, R., 1995. Profesor Titular. Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Concepción.

pulpa es mucho mayor que el número de fibras por gramo de madera, lo que deriva en un valor de coarseness superior en el primer caso.

Una deficiencia en la determinación de coarseness, es que si dos pulpas similares tienen la misma área promedio de la pared en sección transversal y por lo tanto, aproximadamente igual peso por unidad de longitud, pero una con paredes gruesas y la otra con paredes delgadas, se podría entonces fabricar papeles con muy diferentes características (Fuentealba, 1985). Sin embargo, continúa este autor, al considerar el volumen específico estándar de las hojas de prueba tomado en conjunto con el valor medido de coarseness, se podría mostrar que la que tiene paredes gruesas da un papel menos denso y, por lo tanto, sus valores relativos dan una buena indicación del espesor de pared.

2.4.2 Variabilidad del coarseness en el árbol. Las dimensiones transversales celulares, al igual que el peso específico y el largo de traqueidas presentan una fuerte variabilidad y diferentes tendencias según la dirección considerada dentro del árbol; siendo relevante la variabilidad dentro del incremento anual (Delmastro *et als.*, 1980). Concluye la fuente, que las tendencias de la variación y la variación misma de las dimensiones celulares desde médula a corteza, no están, por lo general, bien definidas, ni son tan fuertes como dentro del anillo anual. Al respecto, Cown (1975) trabajando con madera de *Pinus radiata* D. Don, detectó que desde el centro hacia la periferia del fuste el ancho de pared celular presenta un incremento constante en la madera temprana; en tanto que en la madera tardía, tal incremento es algo más pronunciado en los primeros diez anillos desde la médula. El efecto porcentual de la madera de verano (con paredes más gruesas en comparación con la madera de primavera) sobre el espesor de pared, también es reconocido por Melo²³. Por otra parte, de acuerdo con este investigador, el espesor de pared desde médula a corteza sigue una pauta similar a la de la longitud de traqueida.

²³ Melo, R., 1995. Profesor Titular. Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Concepción.

Para Richardson y Dinwoodie (1961) y Richardson (1964a y 1964b), citados por Delmastro *et als.* (1980), el grosor de la pared celular aumenta desde la médula hacia la periferia.

En relación a la diferencia de cualidades entre maderas de diferente edad fisiológica, Melo *et als.* (1988) reconocen una conducta diferente entre la madera juvenil y madura, concluyendo en un estudio sobre *Pinus radiata* D. Don, que la madera joven presenta menores valores de coarseness comparada con la madera adulta. Adicionalmente, Wheeler *et als.* (1966), afirman que en *Pinus taeda*, las diferencias del diámetro de traqueidas fueron significativas entre estas dos zonas de madera.

Por otro lado, según Mc Elwee y van Buijtenen (1964 y 1967), citados por Delmastro *et als.* (1980), es un tanto difícil separar las dimensiones celulares de otras propiedades de la madera, como la densidad; ya que ambas condicionan en gran parte la magnitud de ésta. El aumento de la densidad, continúa la cita, se produce por un aumento del porcentaje de madera tardía y por el aumento del grosor de la pared celular de las traqueidas

El efecto del desarrollo de la copa es abordado por Richardson y Dinwoodie (1961) y Richardson (1964a y 1964b), citados por Delmastro *et als.* (1980) como posibles causas de las variaciones de las dimensiones celulares. Según estos autores, el grosor de pared de la célula estaría influenciado por la aprovechabilidad de carbohidratos, es decir, es en gran parte una función de la asimilación neta; dependiendo de los factores que influyen esta última. Lo que tiene relación con lo aportado por Pashin *et als.* (1964), citado por Chesney (1970), al responsabilizar a la presencia y contenido de auxinas en el momento de la diferenciación en las características del desarrollo y espesor de pared. Turnbull (1947), citado por Morales (1968), señala que el grosor de las paredes se acrecienta al ir alcanzando el árbol su edad adulta, la que lleva a la especialización de los elementos celulares. Finalmente, en relación con la herencia de las dimensiones celulares, hay cierta información que permite concluir que el espesor de pared y el diámetro del lumen celular están bajo el control genético (Smith, 1966; Blair *et als.* (1974); Harris (1970) y Zobel (1972), citados por Delmastro *et als.*, 1980).

Estudiando la interrelación entre las propiedades de una celulosa kraft y la materia prima usada para su fabricación, Melo *et als.* (1988), informan para Pinus radiata D. Don chileno, un rango de coarseness de 16,8mg/100m a 20,6mg/100m en la edad de 10 años, siendo, en general, tales valores inferiores a los encontrados para ejemplares de 20 años. Prosigue esta fuente señalando que en 20 años, la tendencia es clara y con una variación inversa con respecto a la clase diamétrica; encontrándose los valores más altos en la clase diamétrica inferior; los que fluctúan entre 17,6mg/100m y 22,7mg/100m. Concluye finalmente este estudio, que el coarseness de la fibra varía en función inversa con el diámetro del fuste, presentando la madera juvenil menores valores de coarseness, comparada con la madera madura.

Otros estudios de Melo²⁴ respecto de la misma especie, concluyen que en árboles de 30 y 22 años, el valor de coarseness de las fibras es semejante, en tanto que en árboles de 18 y 14 años, los valores son inferiores y similares entre sí. Por otra parte, Martínez y Pacheco (1990) informan que para Pinus radiata D. Don crecido en Chile, las características biométricas de las fibras (longitud, espesor de pared y coarseness), aumentan con la edad del árbol.

En relación con la ubicación a lo largo del fuste, Melo²⁵ señala que para Pinus radiata D. Don, el coarseness de las fibras disminuye cuando la posición en altura en el fuste aumenta. Estudiando la misma especie, Cown (1975) determina variaciones poco definidas, tanto para el diámetro de la célula como para el ancho de la pared celular a medida que se asciende a lo largo del fuste.

2.4.3 Influencia del medio sobre el coarseness de madera. La información existente sobre la influencia del medio en las dimensiones celulares es escasa (Delmastro *et als.*,

^{24,25} Melo, R., 1995. Profesor Titular. Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Concepción.

1980). Con respecto al sitio, se encontró que para Pinus taeda el diámetro del lumen y el grosor de la pared celular aumentaron en los mejores sitios, sin alcanzar tales diferencias significación práctica (Hamilton y Harris, 1965).

Las dimensiones de las traqueidas es afectada por la temperatura (Delmastro *et als.*, 1980). Una mayor temperatura promedio favorece un mayor diámetro del lumen celular (Richardson (1964b), citado por Delmastro *et als.*, 1980), especialmente en el caso de la temperatura nocturna, y en grado menor, por la temperatura diurna. También favorecen un mayor diámetro del lumen, fotoperíodos más prolongados (Jenkis *et als.*, 1977) y mayor oferta de humedad en el suelo (Necesity (1971), citado por Delmastro *et als.*, 1980). En cambio, una defoliación del tallo en plantas jóvenes de Pinus radiata D. Don, afectó la dimensión celular; reduciendo el diámetro del lumen y el grosor de la pared celular (Richardson (1964a), citado por Delmastro *et als.*, 1980).

Las intervenciones silviculturales influirán sobre el diámetro del lumen celular y el grosor de la pared celular en la medida que afectan los principales factores que rigen ambos. En el primer caso; el régimen hormonal de la planta, y en segundo; la asimilación neta (Richardson (1964b), citado por Delmastro *et als.*, 1980).

Martínez y Pacheco (1990), trabajando en forma experimental con rodales de Pinus radiata D. Don representativos del suministro de Fábrica de Celulosa Laja de la Compañía Manufacturera de Papeles y Cartones S.A., señalan que las fibras de mayor espesor de pared provienen de árboles del Sitio Arena Seca. Existiendo a la vez, una buena correlación entre densidad básica de la madera y el coarseness de la fibra para los sitios de Arcilla y Arena Húmeda; tendencia que no se observa en los sitios de Arena Seca. Respecto a la procedencia del material, Melo *et als.* (1988) trabajando con árboles de Pinus radiata D. Don provenientes de ocho diferentes sitios entre Pichilemu y Arauco, concluyen que en ninguno de los casos, se aprecia alguna ordenación o tendencia en relación con la procedencia del material para valores de coarseness de las maderas tratadas.

2.4.4 Coarseness en la fabricación de papel. Se ha sugerido que el concepto de coarseness de fibra (sustancia por unidad de longitud), puede ser un importante factor en la evaluación de fibras papeleras (Britt, 1966). Lo anterior es ratificado por Martínez y Pacheco (1990), al afirmar que las correlaciones estadísticas muestran que la densidad básica y coarseness de la madera (peso/longitud de fibra) son los índices que mejor predicen las propiedades físico-químicas de la pulpa kraft de Pino Radiata. En el mismo sentido, Casey (1960) afirma que el coarseness de las fibras es una importante y fundamental propiedad de las pulpas papeleras. Agregando que esta característica es más relevante en la fabricación del papel que la longitud de fibra, puesto que determina el "felting" propio de ellas. Para Smook (1990), las propiedades del papel dependen en gran medida de la estructura de las diversas fibras que componen la hoja, siendo las dos características más importantes, la longitud de fibra y el espesor de pared celular. Finaliza el autor añadiendo que la relación entre las dimensiones de las fibras y el coarseness con las propiedades del papel, en el caso de las frondosas, no está claramente definida debido a la presencia de elementos de vasos y otros componentes celulares en proporciones variables.

Hay en general, aceptación del efecto de algunas propiedades de las fibras sobre las características del papel (Britt, 1966). Al efectuar una estimación del efecto del coarseness de la fibra sobre las propiedades del papel, este investigador concluye que la propiedad del papel más afectada por esta variable biométrica es, probablemente, la formación. Afirma al mismo tiempo, que es evidente que existe una relación directa entre el coarseness y la formación de la hoja de papel.

Es necesario tomar en cuenta que las fibras más largas de las pulpas de madera son, casi invariablemente, las más gruesas (Fuentealba, 1985). Consecuencia de ello, ciertos fenómenos relacionados con las propiedades del papel; tales como resistencia y volumen específico, se han atribuido -erróneamente- a la longitud de las fibras, en tanto que la verdadera razón radica en el espesor o coarseness de las fibras.

El contenido de humedad tiene un apreciable efecto sobre las dimensiones de las fibras, estimada en 1% a 2% de la longitud, y, aproximadamente, 10% de su ancho (Casey, 1960). Fibras altamente purificadas o deslignificadas hinchan más que fibras sin refinar y como resultado tienen poco aumento de sus dimensiones. Respecto al tratamiento de la pulpa, el coarseness decrece con el batido, ya que las fibras son cortadas, por lo tanto, esta propiedad biométrica de las fibras puede ser usada como medición de la división de los elementos celulares por efecto del batido o equipo de refinación.



III ANTECEDENTES GENERALES, MATERIALES Y METODOLOGIA.

3.1 Antecedentes Generales.

3.1.1 Descripción del área de estudio (CONAF, 1975). El área en estudio pertenece a la Reserva Forestal de Malleco, ubicada en la comuna de Collipulli, IX Región de la Araucanía.

Mayores antecedentes respecto de esta Unidad del Sistema de Areas Silvestres Protegidas del Estado -así como del sector de interés- se encuentran en el Plan de Manejo para la Reserva Forestal de Malleco (1975); ejecutado por la Oficina de Programación XI Zona CONAF a través del “Proyecto de Fortalecimiento Forestal FAO: CHI-526”, en propiedad de la Dirección Regional de CONAF IX Región.

3.1.2 Descripción de los rodales en estudio. Los rodales de las coníferas exóticas materia del presente estudio, se ubicaban en el sector Los Guindos de la Reserva Forestal de Malleco.

En la Tabla 1, se incluye información dasométrica básica que entrega, para las especies presentes o agrupaciones de ellas, el d.a.p. medio en centímetros (diámetro a la altura del pecho), la altura media en metros, el número de árboles totales y el área basal total en metros cuadrados.

Cabe hacer notar que el rodal de la especie Chamaecyparis lawsoniana (A. Murray) Parlatore, estaba constituido por un total de 49 ejemplares ordenados a lo largo de un camino predial; conformando de este modo, una hilera o avenida de árboles. Los rodales de las especies Picea obovata Ledeb. y Pinus strobus L., en tanto, correspondían a la ordenación de la plantación experimental establecida, aproximadamente, en la década de 1930 por el Estado de Chile.

TABLA 1. INFORMACION DASOMETRICA BASICA.

Rodal	Superficie (ha)	Edad (años)	Especie	d.a.p. medio (cm)	Altura media (m)	Arboles totales	Area basal total (m ²)
A	4,20	60	<u>Cupressus ssp.</u>	60,0	23,2	665	231,5
			<u>Pinus strobus</u>	58,0	29,4	24	7,0
			Varias especies de Pino	-	-	195	50,1
			<u>Chamaecyparis lawsoniana</u>	50,5	22,2	49	11,3
			<u>Picea ssp.</u>	38,1	24,4	81	10,3
			<u>Sequoia ssp.</u>	80,7	27,0	6	3,5
			<u>Cedrus ssp.</u>	92,0	35,5	2	1,3
			<u>Abies ssp.</u>	82,4	22,0	10	0,6
B	2,40	60	<u>Cupressus ssp.</u>	64,9	30,6	438	158,8
			<u>Abies ssp.</u>	43,5	24,3	4	0,6
			Varias especies de Pino	-	-	32	15,3
C	0,75	60	<u>Pinus pinaster</u>	44,0	31,3	694	121,3

Fuente: Bases Licitación "Estudios Básicos sobre volumetría, crecimiento y taxonomía en rodales de coníferas exóticas en Sector Los Guindos, Reserva Forestal de Malleco", (1991). CONAF, Dirección Regional IX Región.

3.2 Materiales.

3.2.1 Material de ensayo y experimentación. El material utilizado en esta investigación, provino de parcelas experimentales de las especies: Picea obovata Ledeb., Chamaecyparis lawsoniana (A. Murray) Parlatore y Pinus strobus L. y consistió en rodela tomada a diferentes alturas desde tres árboles para cada especie.

La experimentación se realizó en el Laboratorio de Productos Forestales perteneciente al Departamento de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Concepción; el que dispuso el material y equipos necesarios para el desarrollo de los ensayos.

3.3 Metodología.

3.3.1 Tipo de muestreo y selección de los árboles. Dadas las características de los rodales (escaso número de individuos y, en algunos casos, coexistencia de especies diferentes), se optó por realizar líneas de muestreo de 50 m de largo para la especie Chamaecyparis lawsoniana (A. Murray) Parlatores y parcelas de 500 m² para Picea obovata Ledeb. y Pinus strobus L.; determinando el d.a.p. de todos los individuos, para posteriormente confeccionar Tablas de Rodal desde las cuales se determinó el d.a.p. promedio en base al que se seleccionaron los árboles respectivos.

El material requerido para el estudio debió provenir de aquellos ejemplares muestreados para la realización de los ensayos mecánicos de la madera. La selección de los individuos se hizo de acuerdo a la metodología recomendada por el Instituto Forestal (INFOR) (Informe Técnico N^o 84, 1982) para la determinación de propiedades mecánicas, la que, sin embargo, debió adecuarse a las disposiciones de trozado exigidas por la Corporación Nacional Forestal (CONAF). Se seleccionaron de este modo, un mínimo de tres árboles por especie; correspondiendo uno a la clase del d.a.p. medio, otro a la clase superior y el tercero a la clase inferior a dicho diámetro. En los casos en que no fue posible disponer de los individuos definidos por la metodología, se procedió a seleccionar aquellos más cercanos a las clases mencionadas

Los valores correspondientes al d.a.p. de los árboles muestreados de cada especie, se exponen en la Tabla 2.

TABLA 2. INFORMACION DASOMETRICA DE LOS ARBOLES MUESTREADOS.

Especie	d.a.p. (cm)		
	Arbol N ^o 1	Arbol N ^o 2	Arbol N ^o 3
<u>Picea obovata</u>	35,0	25,0	46,0
<u>Chamaecyparis lawsoniana</u>	47,0	57,0	64,0
<u>Pinus strobus</u>	78,0	64,0	70,0

3.3.2 Obtención de las muestras para experimentación. Las muestras para la determinación de las propiedades biométricas de las maderas de las coníferas en cuestión, correspondieron a material proveniente de rodela tomada a diferentes alturas en los árboles seleccionados, las que se almacenaron en las dependencias del Laboratorio de Productos Forestales de nuestra Universidad (ver Figura 1). Las rodela, de aproximadamente 5 cm de espesor, se identificaron convenientemente de acuerdo a un código que denotaba la especie y la altura a la cual se extrajo. De este modo, para Picea obovata Ledeb. se utilizó las letras Po, en el caso de Chamaecyparis lawsoniana (A. Murray) Parlato, las letras Chl y, finalmente, para Pinus strobus L., las letras Ps.

En los casos de presencia de anomalías; como nudos, pudriciones o quebraduras en el fuste, se procedió a tomar la rodela en la zona contigua al área anómala; de modo que la madera muestreada no tuviese defectos que alteraran las propiedades a evaluar.

Una vez que las rodela fueron identificadas, se dividieron en sectores según los objetivos perseguidos en la presente tesis; los que, finalmente, constituyeron el material de ensayo. Para la determinación del comportamiento intraincremental en altura y edad del peso específico a volumen saturado, longitud de traqueidas y coarseness de madera en cada una de las especies, se retiraron cuatro cuñas opuestas por rodela. Tales cuñas (con un arco aproximado de tres centímetros) se dividieron a su vez en tres sectores de un centímetro de arco; los que se utilizaron para la determinación de las propiedades descritas, así como para el análisis de las propiedades químicas de las maderas; estudio que complementa el presente. A continuación se agregaron los sectores opuestos; constituyendo de este modo, cuatro muestras de experimentación. Por último, de los sectores agregados se obtuvieron subsectores de diez anillos de crecimiento, los que una vez fraccionados en astillas de 1 cm de longitud y 1 mm de espesor, constituyeron, el material de trabajo para los análisis intraincrementales (ver Figura 2).

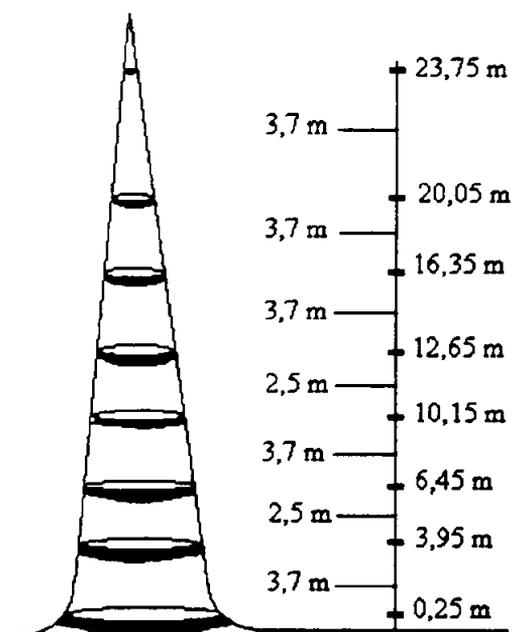


FIGURA Nº 1. Obtención de rodela a distintas alturas en el árbol.

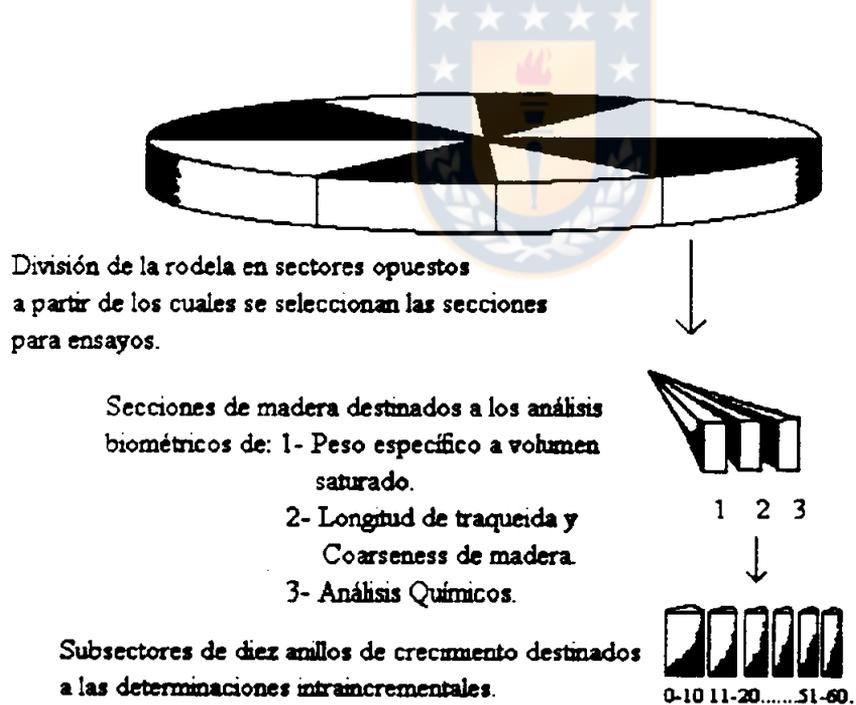


FIGURA Nº 2. Obtención de probetas para ensayos a partir de las rodela.

Para cada una de las especies, el árbol de d.a.p. medio proveyó la mayor proporción de material. Es así como en la determinación del peso específico, se generaron cuñas desde todas las rodelas de este ejemplar, en tanto que los dos restantes árboles, generaron cuñas desde sólo algunas de sus diferentes rodelas. En este caso, el criterio de selección de las cuñas, fue la disponibilidad y calidad del material y la coincidencia en altura de las rodelas elejidas. Por otro lado, en la determinación de la longitud de traqueidas y coarseness de madera, se seleccionaron únicamente tres rodelas del árbol de d.a.p. medio para generar el material de experimentación (inferior, media y superior).

3.3.3 Determinación del peso específico de la madera. El peso específico de la madera se determinó de acuerdo al método de desplazamiento de agua según volumen de la pieza, conocido como “Método de Arquímedes”. Este método, que permite relacionar peso anhidro con volumen saturado o verde, es ampliamente citado por la literatura como procedimiento de determinación del peso específico.

El estado anhidro se obtuvo colocando las probetas en una estufa a 103°C (con una variación de 2°C) durante 48 horas o hasta peso constante; y el volumen saturado, tras someterlas a inmersión hasta su precipitación total en los depósitos destinados para tal efecto, midiendo el incremento en peso que experimenta un vaso de precipitado conteniendo agua corriente cuando se introduce en él la probeta soportada por un fino sostén punzante.

Las mediciones fueron hechas con una balanza analítica -en caso de muestras pequeñas- o de mayor capacidad, en el caso de piezas grandes. La probeta saturada, previamente a ser pesada, se suspendía sobre el agua desde el brazo de la balanza o desde un trípode acondicionado para ello. La balanza, así como los dispositivos accesorios, se calibraron y pesaron antes de la inmersión de las piezas, siendo la precisión exigida en los ensayos de 0,01 g, con tres repeticiones para cada determinación a partir de las cuales se obtuvo un valor promedio.

El concepto de peso específico aquí adoptado, es el de una relación de dimensiones expresado en función del volumen base: “Peso específico a volumen saturado”.

La bondad y aplicación del método, se debe a que, siendo la densidad del agua virtualmente unitaria a temperatura ambiente, la diferencia de los registros de la balanza antes y después de sumergir la probeta, corresponde al volumen de agua desplazado, esto es; al volumen de la probeta.

3.3.4 Determinación de la longitud de traqueidas y del coarseness de madera. La metodología seguida, se basó en los procedimientos descritos en “Tappi Test Methods”, Volumen N^o 1 (1989); publicados por la “Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI)”.

Las Normas empleadas en este estudio fueron:

- Norma TAPPI T 232 cm-85 “Fiber length of Pulp by projection”.
- Norma TAPPI T 234 cm-84 “Coarseness of Pulp fibers”.

Ambas, aunque desarrolladas para la determinación de propiedades papeleras de las pulpas de madera, se han descrito, verificado y aplicado (en ocasiones con modificaciones) en innumerables estudios.

3.3.5 Análisis de los datos. Para cada una de las especies, los resultados hallados fueron analizados matemáticamente de modo de determinar los valores promedios y conocer las tendencias adoptadas por las propiedades estudiadas.

El proceso de cálculo de promedios y tendencias, consideró la influencia del volumen de las piezas, por lo que debió ponderarse los valores según dicha variable. En otras palabras, se determinó la influencia relativa que cada sector intraincremental ejercía sobre

el total de la rodela y, por extensión, sobre el volumen total del árbol y por ende, sobre cada una de las propiedades medidas.

Se debe destacar que por razones presupuestarias debió restringirse el tamaño de las muestras, de modo que los datos obtenidos y la información generada en base a ellos, han de ser tomados con precaución, pues sólo indican tendencias generales en lo que atañe a los valores promedios y a las tendencias de los factores en estudio.



IV RESULTADOS Y DISCUSION.

4.1 Valores promedios ponderados .

La Tabla 3 muestra los valores promedios determinados en este estudio para cada una de las propiedades biométricas de las maderas evaluadas. En el caso particular de las cualidades peso específico a volumen saturado y longitud de traqueida, se detectan valores que están por bajo aquellos informados por la literatura para las mismas especies, si bien ambas se encuentra dentro del rango definido para coníferas. En relación a los valores de coarseness de madera, aunque no se informan promedios generales para gimnospermas, las especies estudiadas presentan promedios ponderados próximos a los informados para otras especies coníferas (aunque de edades diferentes a la de los ejemplares evaluados en esta investigación, lo que no hace recomendable realizar comparaciones).

TABLA 3. PROMEDIOS PONDERADOS SEGUN ATRIBUTO Y ESPECIE

Especie	Peso específico	Longitud de traqueida (mm)	Coarseness (dg)
<u>Picea obovata</u>	0,363	2,66	17,64
<u>Chamaecyparis lawsoniana</u>	0,360	2,41	12,00
<u>Pinus strobus</u>	0,297	2,64	17,99

4.2 Peso específico a volumen saturado.

4.2.1 Tendencias del peso específico en relación a la altura del árbol. En la Tabla 4 se resumen los resultados obtenidos en las determinaciones de peso específico promedio ponderado a diferentes alturas para las tres especies bajo estudio. La discusión de los mismos se presenta en forma individual según el orden establecido en la Tabla mencionada.

TABLA 4. PESO ESPECIFICO PROMEDIO PONDERADO A VOLUMEN SATURADO EN RELACION A LA ALTURA DEL ARBOL SEGUN ESPECIE.

Altura (m)	Especie		
	<u>Picea obovata</u>	<u>Chamaecyparis lawsoniana</u>	<u>Pinus strobus</u>
0,25	0,400	0,372	0,336
3,95	0,354	0,345	0,283
5,20	-	0,378	0,289
6,45	0,369	0,345	0,270
10,15	0,369	0,353	0,296
10,85	-	0,363	-
11,40	-	0,343	0,271
12,65	0,358	0,333	0,282
16,35	0,346	0,353	0,298
17,05	-	0,392	-
20,05	-	-	0,301
23,75	-	-	0,325

La tendencia seguida por los valores promedios ponderados en la madera de Picea obovata Ledeb. refleja una disminución gradual del peso específico con la altura del árbol, tendencia definida que sólo se ve alterada en los 3,95 m sobre el fuste con un descenso más pronunciado; modificación que debe ser tomada con reserva puesto que tal valor es aportado sólo por el árbol N^o 1 (ver Tabla 13A). El valor promedio ponderado para la especie fue de 0,363 (ver Tabla 3), con un máximo de 0,400 correspondiente a la zona basal (0,25 m), en tanto que el mínimo valor de peso específico (0,346) se alcanzó para la máxima posición muestreada en el fuste (16,35 m); lo que equivale a un decremento de densidad de 13,5% con la altura.

La Figura 3 muestra el comportamiento del peso específico promedio ponderado a volumen saturado a diferentes alturas en el árbol para cada ejemplar muestreado. Si se toma el promedio ponderado y el rango dentro del cual se distribuyen los valores como patrones de referencia, es posible observar la dispersión relativamente alta de éstos en la sección basal. En efecto, para un valor medio ponderado de 0,400 se presenta a un rango de 0,095; con un mínimo de 0,348 (para el árbol N^o 1) y un máximo de 0,443 (para el árbol N^o 2). La distribución de los promedios ponderados en las restantes alturas, no

ofrece, como en los 0,25 m, una amplitud importante y, por el contrario, tras los 10,15 m en el fuste -con un rango de 0,046- los valores se aproximan entre sí en torno al promedio por especie (ver Tabla 4A, Tabla 5A y Tabla 6A).

Nótese que el ejemplar N^o 1 presenta los valores más bajos en todos los niveles de altura, en tanto que el árbol N^o 2; los más elevados a tres niveles comparables. Si se observan ahora los valores de d.a.p. expuestos en la Tabla 2, vemos que este último ejemplar presenta el menor valor (25 cm). Por otro lado, el árbol N^o 3 (con un promedio dentro del rango determinado por los dos restantes ejemplares a alturas similares) presenta el máximo d.a.p. (46 cm).

Si entendemos el d.a.p. del árbol como expresión de su tasa de crecimiento, nuestras observaciones entonces; confirman lo confuso de la relación de dicha dimensión transversal y el peso específico del leño.

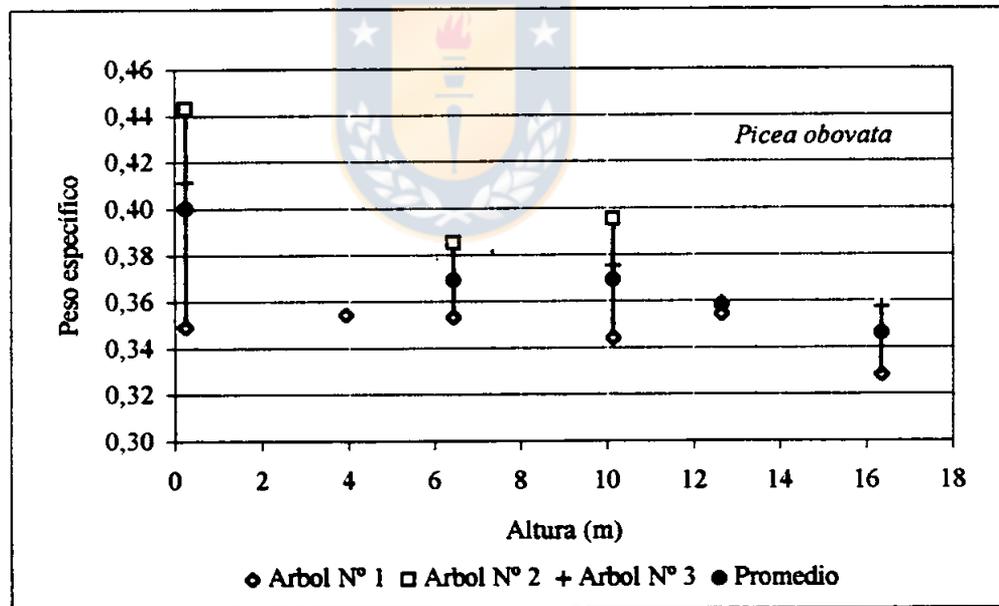


FIGURA 3. Tendencia del peso específico promedio ponderado a volumen saturado en relación a la altura del árbol en la madera de Picea obovata Ledeb. con referencia a los rangos de variación para cada altura según ejemplar muestreado.

En efecto, el ejemplar N^o 2 (de menor velocidad de desarrollo en comparación a los dos restantes individuos), presenta el máximo peso específico a volumen saturado. Para el ejemplar N^o 3, en cambio (con la más alta tasa de crecimiento); se esperaría -en virtud de la relación establecida- el peso específico más bajo; lo que no se cumple para este ejemplar, sino que para aquel de d.a.p. medio (ver Tabla 2 y Tabla 3). Por lo tanto, sin desconocer la validez de la relación enunciada, nos queda entonces reconocer la posible influencia del efecto neto de la edad sobre el del peso específico, es decir, que esta propiedad obedecería; más que al ritmo de crecimiento, al número de generaciones cambiales del leño -o de otra manera- a la edad fisiológica de éste.

La Figura 4 presenta la tendencia del peso específico en sectores intraincrementales equivalentes según sucesivas alturas en el árbol. En ella se puede observar que para cada altura existe un amplio rango de variación; siendo la excepción, los valores de este atributo determinados para el menor nivel; los que oscilan entre 0,379 y 0,412.

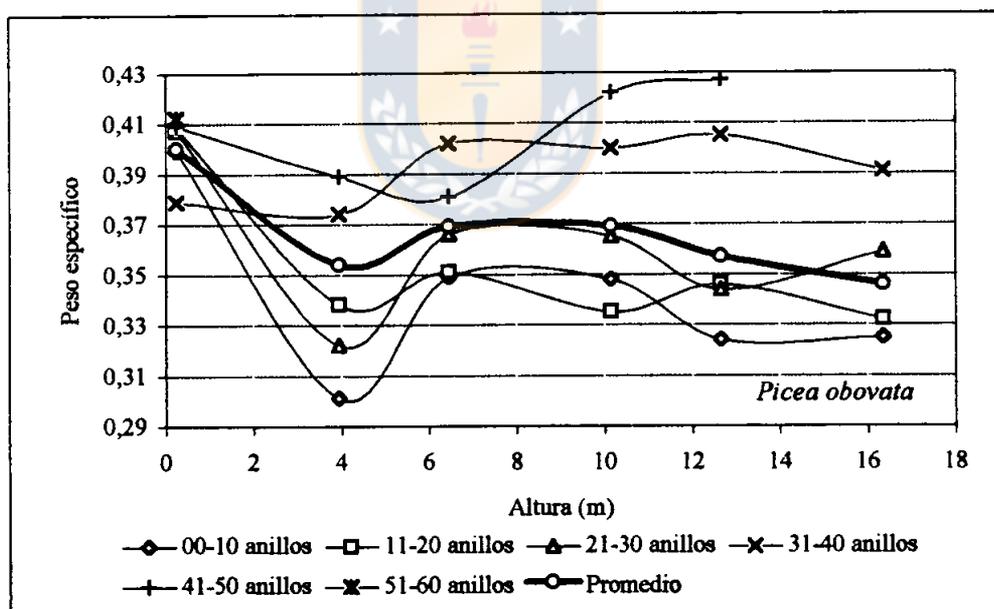


FIGURA 4. Tendencia del peso específico promedio ponderado a volumen saturado de los incrementos según número de anillos desde la médula en relación a la altura del árbol en la madera de *Picea obovata* Ledeb..

Por otra parte (excluyendo el valor de densidad para el incremento 31 a 40 anillos en 0,25 m), hacia la periferia del fuste (31 a 60 años) se presentan los máximos pesos específicos en relación con la altura del árbol (ver Tabla 13A). Sirva lo anterior para reconocer la distinta influencia de la madera juvenil y madura sobre el peso específico del leño en los distintos niveles de altura, ofreciendo -los valores de la primera- menor dispersión en torno al promedio ponderado que los correspondientes a la madera de mayor edad.

Si se observa ahora el comportamiento de la relación entre la altura del árbol y su peso específico intraincremental promedio ponderado en cada uno de los ejemplares muestreados, el que se ilustra en cada caso a través de la Figura 5, Figura 6 y Figura 7, respectivamente, podemos darnos cuenta que la madera madura; situada hacia la periferia del fuste, presenta los mayores valores en todas las alturas registradas.

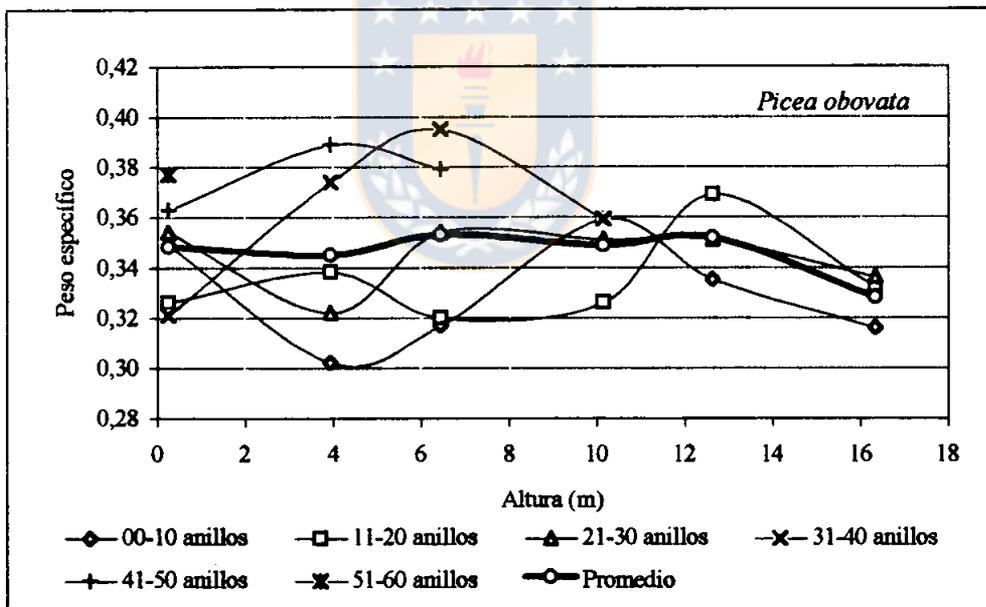


FIGURA 5. Tendencia del peso específico promedio ponderado a volumen saturado de los incrementos según número de anillos desde la médula en relación a la altura del árbol N^o 1 de *Picea obovata* Ledeb..

Para el árbol N^o 1 se observa un comportamiento errático de los valores de peso específico para la madera juvenil a todo lo largo del fuste, situación que se prolonga en la madera de transición (20 a 30 anillos desde la médula) presentando ambas, en general, valores por bajo el promedio ponderado.

La madera adulta (anillos 31 a 60), por otro lado, alcanza los máximos pesos específicos (se exceptúa el incremento 31 a 40 años en el nivel de 0,25 m), con un aumento desde la médula hasta cierta altura a partir desde la cual desciende.

Finalmente, el valor promedio ponderado del árbol presenta una tendencia relativamente constante a lo largo del fuste, con un leve descenso en la altura superior (16,35 m). Lo anterior se explicaría en base a que este sector del árbol está formado casi exclusivamente por madera joven (0 a 10 ó 20 años) y, eventualmente, de transición (11 a 21 ó 30 años), las que por lo general, presentan menor peso específico que la madera adulta, debido básicamente a sus células de menor longitud y espesor de pared.

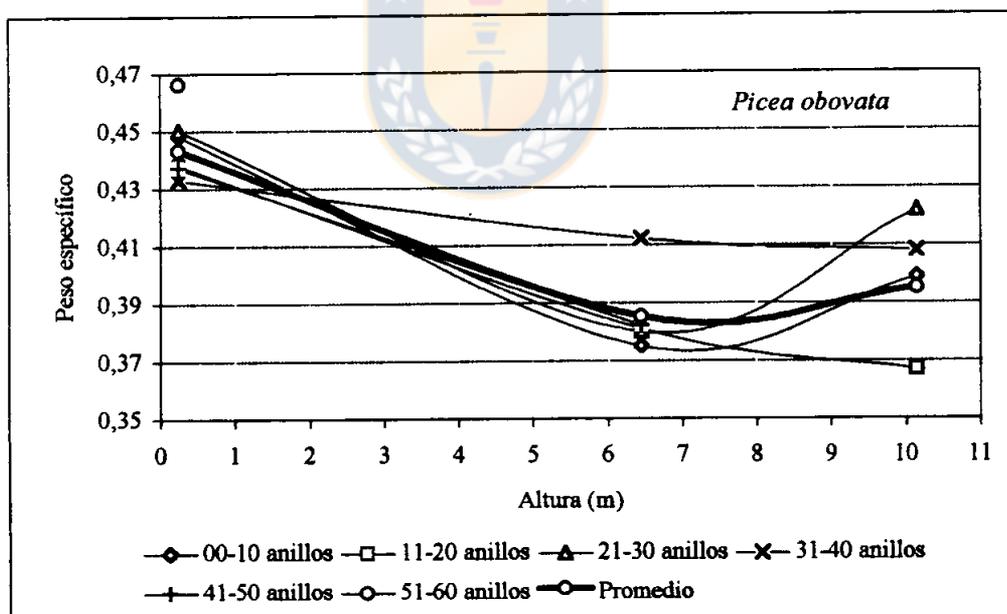


FIGURA 6. Tendencia del peso específico promedio ponderado a volumen saturado de los incrementos según número de anillos desde la médula en relación a la altura del árbol N^o 2 de *Picea obovata* Ledeb..

El ejemplar N^o 2 ofrece una relativa concentración de los valores en torno al promedio ponderado en los tres niveles de altura evaluados (escapa a esta regla el sector intraincremental 31 a 40 años de edad fisiológica y las secciones de anillos 11 a 20 y 21 a 30 en la altura superior). Nótese que por sobre los 6,45 m en el fuste, se presenta un aumento notable del peso específico y una mayor dispersión de los valores en torno al promedio. Este fenómeno, que ya ha sido detectado en especies coníferas; especialmente Piceas, tendría su explicación en la posible existencia de madera tipo top-wood, esto es, madera juvenil de alto peso específico y, eventualmente, en el relativo grado de conicidad de los fustes de los ejemplares muestreados (ver Tabla 1A), así como en la presencia de madera nudosa, condiciones ambas, generadoras de madera de compresión; la que se caracteriza por un elevado peso específico.

Para el último ejemplar muestreado (ver Figura 7), la tendencia esperada para las coníferas; esto es, descenso del peso específico con la altura, parece ser más clara que en los individuos analizados previamente. Esto ratifica en cierto modo lo anunciado por la mayoría de los investigadores en cuanto a la gran variabilidad existente entre diferentes árboles de un mismo rodal. Siendo este el ejemplar de mayor d.a.p., obsérvese la fuerte dispersión de los valores en torno al valor medio, particularmente hacia la copa; zona del árbol en donde son más notables las desigualdades entre madera de diferente etapa fisiológica, alcanzándose las máximas diferencias entre los diez primeros anillos y los 41 a 50 años.

Finalmente, cabe destacar que en todos los ejemplares, el sector entre 21 a 30 años es el que más se aproxima al valor medio ponderado, siendo quizá un buen predictor del peso específico en las diferentes alturas en el árbol.

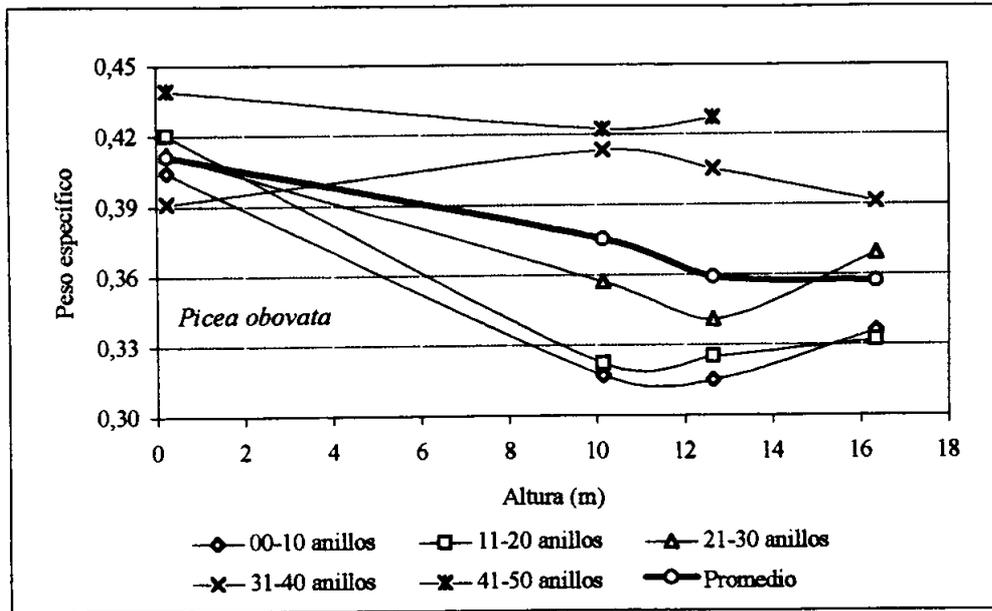


FIGURA 7. Tendencia del peso específico promedio ponderado a volumen saturado de los incrementos según número de anillos desde la médula en relación a la altura del árbol N^o 3 de *Picea obovata* Ledeb..

Para *Chamaecyparis lawsoniana* (A. Murray) Parlato no se detectó una tendencia definida en el comportamiento del peso específico; caracterizándose más bien, por las fuertes oscilaciones de los valores a lo largo del fuste. Así, mientras el valor promedio ponderado de peso específico a volumen saturado para esta especie fue de 0,360 (ver Tabla 3), el mínimo valor se presentó aproximadamente a los 12,65 m de altura; en tanto que el máximo, se situó en la copa (17,05 m); siendo por otro lado, la variación entre 12,65 m y 17,05 m la más fuerte y equivalente a un 17,7% (ver Tabla 4).

En la Figura 8 se presentan las tendencias adoptadas por los valores de peso específico a volumen saturado en los árboles individuales según altura sobre el fuste. Nótese las dispersiones relativamente altas en los valores de peso específico en torno al promedio ponderado para aquellas alturas equivalentes (se exceptúa el nivel 10,15 m).

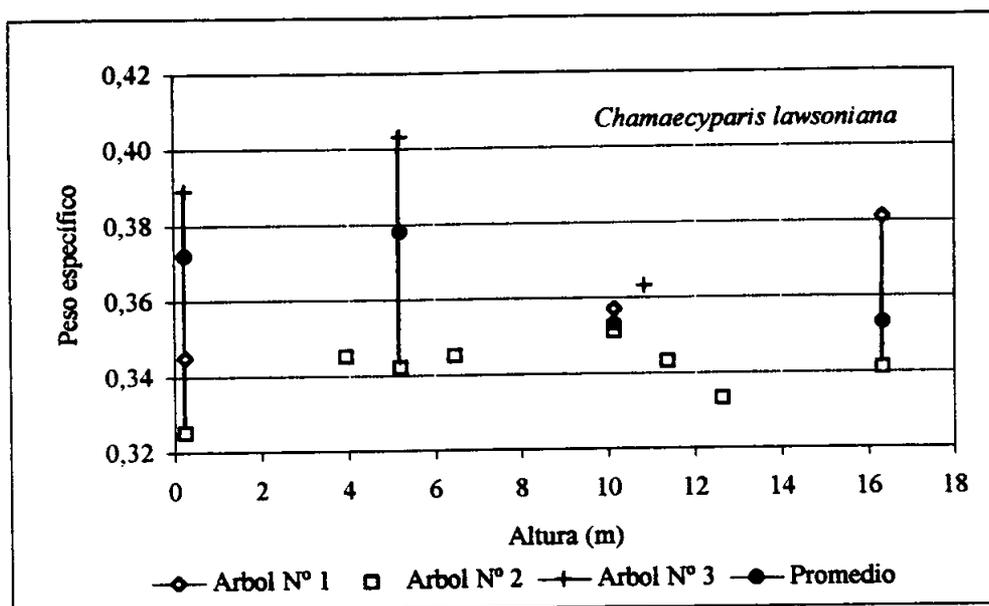


FIGURA 8. Tendencia del peso específico promedio ponderado a volumen saturado en relación a la altura del árbol en la madera de *Chamaecyparis lawsoniana* (A. Murray) Parlatores con referencia a los rangos de variación para cada altura según ejemplar muestreado.

Al igual que en la especie *Picea Siberiana*, el efecto de la tasa de crecimiento no parece explicar el comportamiento detectado aquí. En efecto, el árbol N° 3; siendo el de mayor d.a.p. y, por ello, eventualmente, el de máxima tasa de crecimiento (ver Tabla 2), presenta los más altos valores de peso específico en las diferentes alturas, en tanto que el ejemplar N° 2 (correspondiente al d.a.p. medio); los menores promedios ponderados a niveles de altura comparables. Finalmente, el árbol N° 1; ejemplar de menor d.a.p. (teóricamente, de menor velocidad de crecimiento) y de moderada influencia sobre el peso específico promedio ponderado (ver Tabla 2A), ofrece valores dentro del rango definido por los dos restantes ejemplares (al menos para alturas semejantes).

Puesto que la tasa de crecimiento no explica el comportamiento de los valores de peso específico detectados en los diferentes ejemplares, cabe entonces buscar una alternativa independiente de ésta como causa explicativa.

Así, la edad fisiológica del leño podría ser una razón suficiente de no mediar las características tan particulares en que los ejemplares evaluados les correspondió crecer (ubicados a lo largo de un camino predial; conformando una hilera o avenida de árboles). De lo anterior podría desprenderse alguna conjetura respecto al comportamiento de las variables medidas en la madera de esta especie. Así, el efecto del espaciamiento sobre el tamaño de la copa, ramas y nudos, la frecuencia de verticilos, la proporción de madera juvenil, la rectitud y conicidad de los troncos y la presencia de viento y nieve que, especialmente hacia la copa, podrían generar importante proporción de madera de reacción, jugarían un papel decisivo sobre el peso específico del leño.

La Figura 9 ilustra el comportamiento de los valores promedios ponderados de peso específico en relación a la altura del árbol según sectores de edad equivalentes en madera de *Chamaecyparis lawsoniana* (A. Murray) Parlatores.

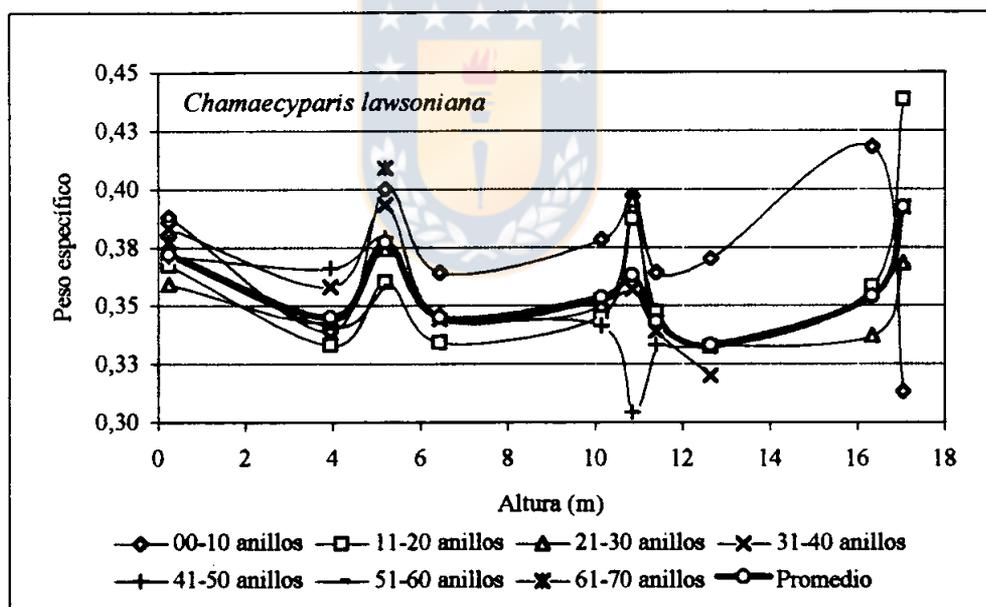


FIGURA 9. Tendencia del peso específico promedio ponderado a volumen saturado de los incrementos según número de anillos desde la médula en relación a la altura del árbol en la madera de *Chamaecyparis lawsoniana* (A. Murray) Parlatores.

Los valores determinados para 3,95 m, 6,45 m, 11,4 m y 12,65 m de altura provienen de un sólo árbol, tal es, el ejemplar N^o 2 (ver Tabla 14 A); siendo estas alturas las que presentan los más bajos pesos específicos ponderados. Atendiendo a esta consideración y a la enorme variabilidad en el peso específico existente entre los árboles de un mismo rodal, podría entenderse la tendencia poco definida en altura detectada para la especie en la propiedad estudiada. Para la mayor parte de las alturas, los valores más elevados se presentan entre la médula y los 10 años de edad, comportamiento que sobre los 10,9 m, se muestra también para los anillos 11 a 20. Prosiguiendo el análisis de la Figura 9, vemos -en relación a la dispersión de los valores en torno al promedio ponderado- que, en general, los distintos sectores intraincrementales siguen igual tendencia a lo largo del fuste, detectándose además, un incremento de los valores sobre los 11,40 m.

La relación existente entre la altura del árbol y su correspondiente peso específico intraincremental promedio ponderado en cada uno de los ejemplares muestreados, se ilustra en la Figura 10, Figura 11 y Figura 12, respectivamente.

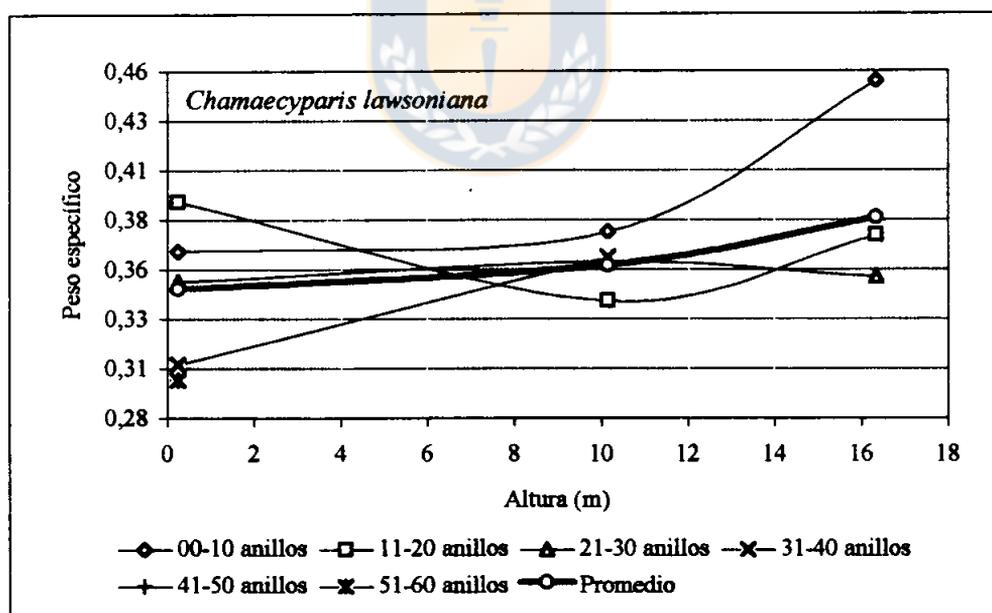


FIGURA 10. Tendencia del peso específico promedio ponderado a volumen saturado de los incrementos según número de anillos desde la médula en relación a la altura del árbol N^o 1 de *Chamaecyparis lawsoniana* (A. Murray) Parlatore.

Para el individuo N^o 1 se presenta una clara y moderada tendencia al aumento del peso específico con la altura en el árbol. Nótese que hacia la copa, el incremento de la propiedad analizada se sustenta sobre madera de carácter joven, especialmente aquella bajo los diez años de edad fisiológica.

En relación a la dispersión de los valores respecto al promedio ponderado, las alturas extremas (0,25 m y 16,35 m) presentan las mayores dispersiones. Hacia la base, puede atribuirse cierta influencia de las raíces en el desarrollo de la madera de tocón (la que la hace ser diferente a la madera del resto del árbol), a ello se podría agregar algún efecto de los contrafuertes basales característicos de esta conífera norteamericana.

La Figura 11 expone la tendencia detectada para el ejemplar N^o 2.

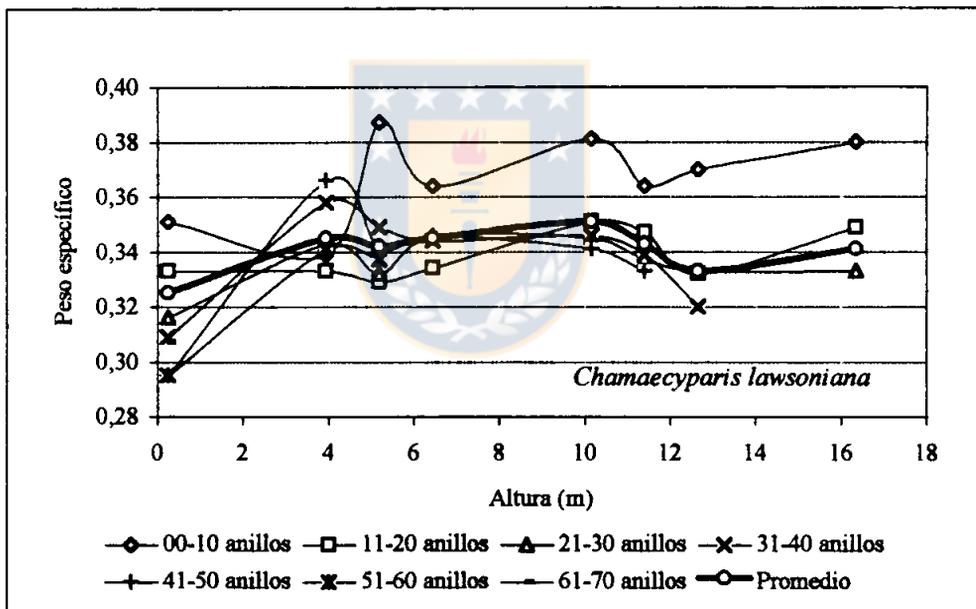


FIGURA 11. Tendencia del peso específico promedio ponderado a volumen saturado de los incrementos según número de anillos desde la médula en relación a la altura del árbol N^o 2 de *Chamaecyparis lawsoniana* (A. Murray) Parlatore.

Para el árbol N^o 2 se podría estimar un comportamiento relativamente constante en relación con la altura, si bien la madera juvenil, al menos la de los 10 primeros anillos, afecta notablemente tal aspecto a lo largo del fuste, especialmente desde los 5,20 m; nivel desde el cual presenta los valores más altos en relación al resto de los sectores intraincrementales.

Resulta destacable la poca dispersión de los valores de peso específico para los diferentes niveles en torno al promedio ponderado, comportamiento al que escapan los anillos cero a diez y la primera altura (0,25 m). La alta dispersión de valores de peso específico desde 0,295 hasta 0,351 en la base del fuste (ver Tabla 8A), tal como se precisó anteriormente, puede deberse a ciertos efectos que juegan las raíces y/o contrafuertes basales en el desarrollo de esta parte del árbol. En tanto que la diferencia detectadas en la madera joven respecto al resto del leño, obedecería a efectos de la edad fisiológica, condiciones de crecimiento o alguna de las alternativas expuestas previamente para similar situación.

Observando ahora la Figura 12 (referida al ejemplar N^o 3), es posible apreciar una concentración de los valores de peso específico en torno al promedio ponderado para las dos primeras alturas y una dispersión relativamente alta en los 10,85 m y 17,05 m; aspecto notable, puesto que se trata de un ejemplar con la más alta incidencia en los valores medios para todos los incrementos (ver Tabla 2, Tabla 2A y Tabla 9A).

La fuerte alteración de los patrones de variación hacia la copa, podrían explicarse nuevamente en base al efecto del desarrollo de ésta sobre las características de la madera, aunque, siendo éste el ejemplar de mayor d.a.p. y altura (ver Tabla 2 y Tabla 1A), la influencia -posible- del viento o nieve (característicos de la zona de estudio) sobre la parte superior del árbol sea importante.

Por último, no quedaría otra cosa que recomendar una interpretación cautelosa de los resultados obtenidos y un análisis de carácter general de los mismos.

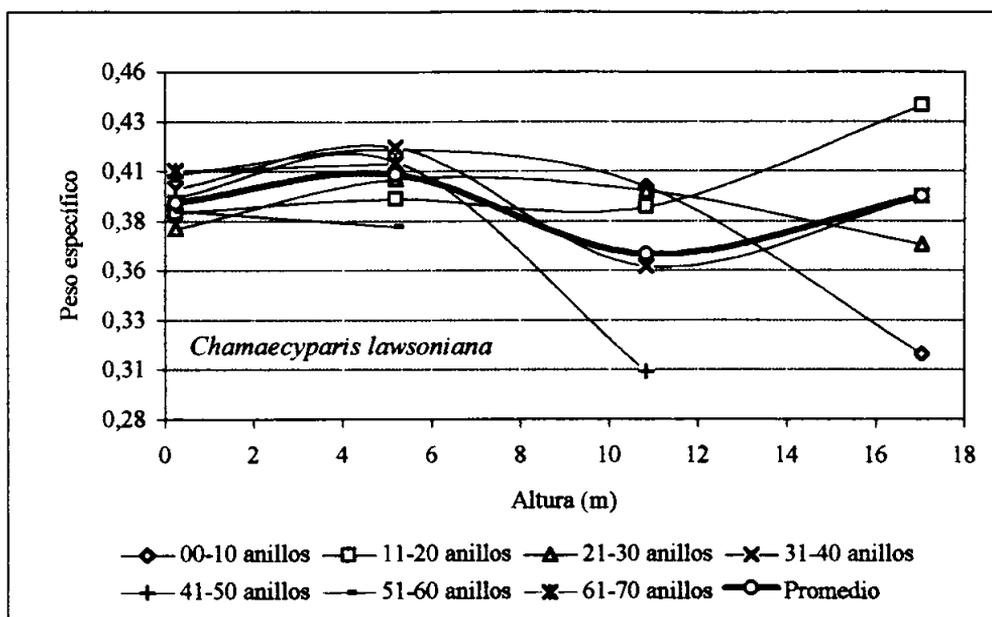


FIGURA 12. Tendencia del peso específico promedio ponderado a volumen saturado de los incrementos según número de anillos desde la médula en relación a la altura del árbol N^o 3 de *Chamaecyparis lawsoniana* (A. Murray) Parlatore.

En la Tabla 4 se entregan los valores para *Pinus strobus* L., madera que presenta los menores pesos específicos entre las especies estudiadas; con una tendencia al aumento de esta propiedad a medida que se incrementa la altura sobre el árbol, lo que es notable a partir de los 11,40 m sobre el fuste; aunque para la altura extrema, esto es, 23,75 m, el valor del peso específico proviene de tan sólo del árbol N^o3 (ver Tabla 15A).

Para esta especie se determinó un promedio ponderado de 0,297 (ver Tabla 3), siendo el valor mínimo de 0,270 para los 6,45 m (dato que también proviene de un sólo árbol) y el valor máximo de 0,336 en la base del fuste.

En la Figura 13 se presenta la tendencia adoptada por el peso específico promedio ponderado en cada uno de los ejemplares muestreados según altura en el árbol. Los valores más altos se obtienen, en todos los casos, en la madera correspondiente a la base del árbol (0,25 m), luego; a partir de los 3,95 m, la tendencia promedio de la variable

medida tiende a ser relativamente constante a medida que la altura en el árbol se incrementa, al menos hasta cierto nivel, tras el cual se observan incrementos hacia el ápice; esto último parece ser más notable en el ejemplar N^o 1 y ejemplar N^o 3. Es posible observar además, que las dispersiones en torno al promedio ponderado parecen ser más notables en las zonas extremas del árbol, esto es, bajo los 4 m de altura y sobre los 16 m.

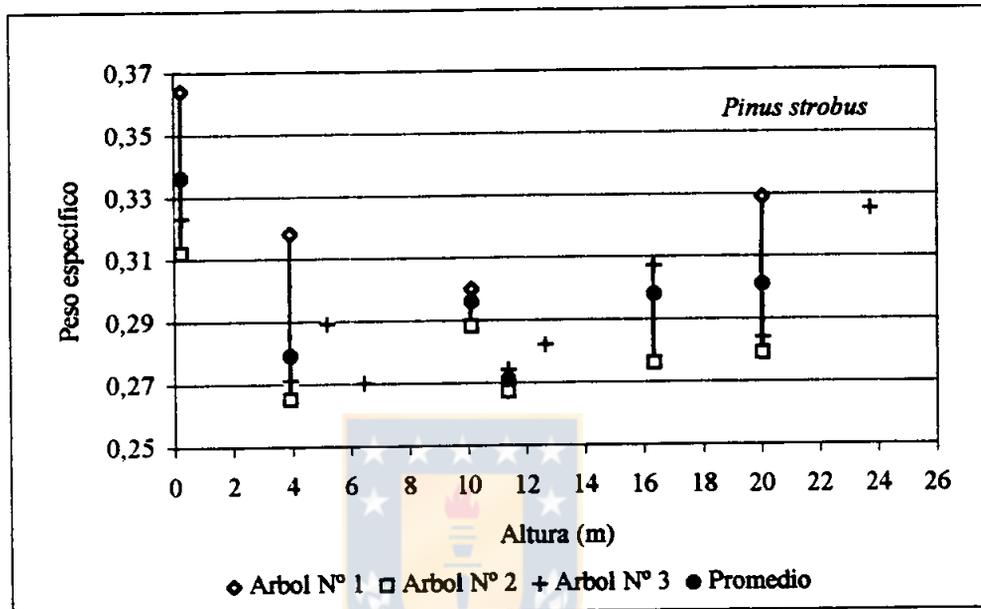


FIGURA 13. Tendencia del peso específico promedio ponderado a volumen saturado en relación a la altura del árbol en la madera de *Pinus strobus* L. con referencia a los rangos de variación para cada altura según ejemplar muestreado.

Si al igual que en las especies anteriores, asociamos el d.a.p. de los individuos a su correspondiente velocidad de crecimiento, vemos que, nuevamente, ésta no nos explica las tendencias y valores alcanzados. En efecto, si un mayor d.a.p. significa eventualmente, una más elevada tasa de desarrollo y con ello, menores valores de peso específico, el comportamiento detectado en el individuo N^o 1 contradice tal norma: mayor d.a.p. y mayores valores de peso específico; consecuentemente, para el ejemplar N^o 2, se cumple la situación inversa: menor d.a.p. y menor valor de peso específico; en circunstancia que lo esperable sería, de acuerdo a la asociación planteada, valores más elevados de la propiedad bajo análisis.

En la Figura 14 se puede observar el comportamiento del peso específico promedio ponderado según sectores intraincrementales equivalentes en relación a la altura del árbol en la especie Pino Blanco del Este.

La mayor variabilidad del peso específico en torno al valor promedio ponderado se presenta para la altura de 0,25 m. La posible influencia de las raíces y/o un alto componente de madera de compresión hacia el tocón, quizá sea la causa de tan característico efecto; ya detectado y analizado en la madera de las especies *Picea Siberiana* y *Ciprés de Lawson*.

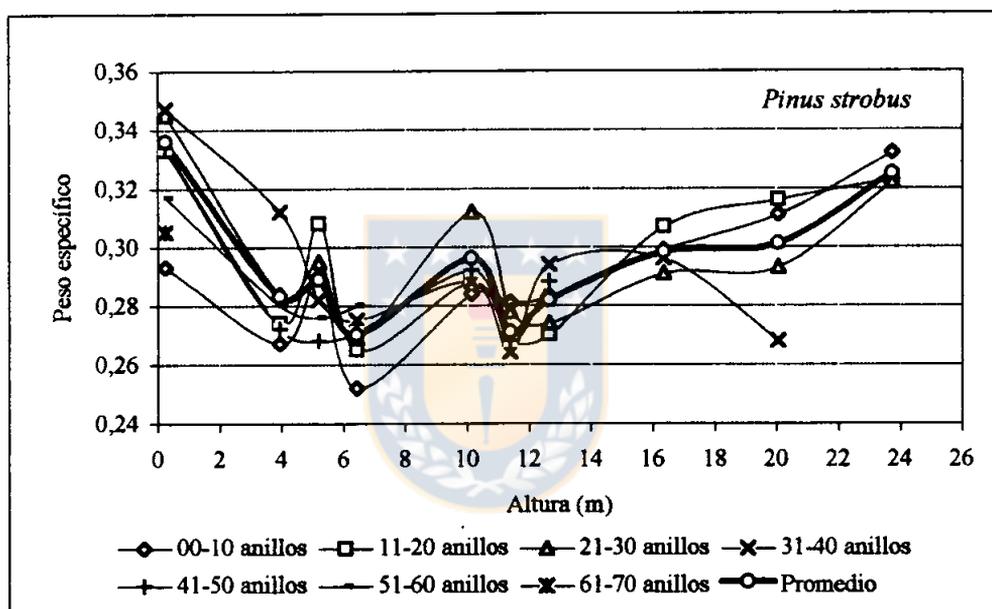


FIGURA 14. Tendencia del peso específico promedio ponderado a volumen saturado de los incrementos según número de anillos desde la médula en relación a la altura del árbol en la madera de *Pinus strobus* L..

Sobre los 0,25 m, los valores del atributo medido se estabilizan entre 0,270 y 0,282 (ver Tabla 15A), luego, hacia la copa, se detecta un aumento moderado de los valores de peso específico, siendo probablemente, la madera joven y de transición (0 a 30 anillos) responsable de tal fenómeno. De acuerdo al análisis precedente, estaríamos en presencia de madera tipo top-wood; posible causa de comportamientos similares en las restantes

especies en estudio. Por último, no deben descartarse otras posibles causas de la tendencia desarrollada en la madera de *Pinus strobus* L., tales son: condiciones de sitio, efecto de la edad fisiológica, efecto copa, etc..

Por otro lado, la tendencia seguida por el peso específico promedio ponderado a volumen saturado en relación a la altura del árbol en cada ejemplar muestreado, nos permite deducir que el comportamiento individual ratifica el incremento con la altura desde cierto nivel de ésta, y en el que la madera juvenil ejerce fuerte influencia; con valores que sobrepasan, en algunos casos, los de la madera de tocón a dichos niveles (ver Tabla 10A, Tabla 11A y Tabla 12A).

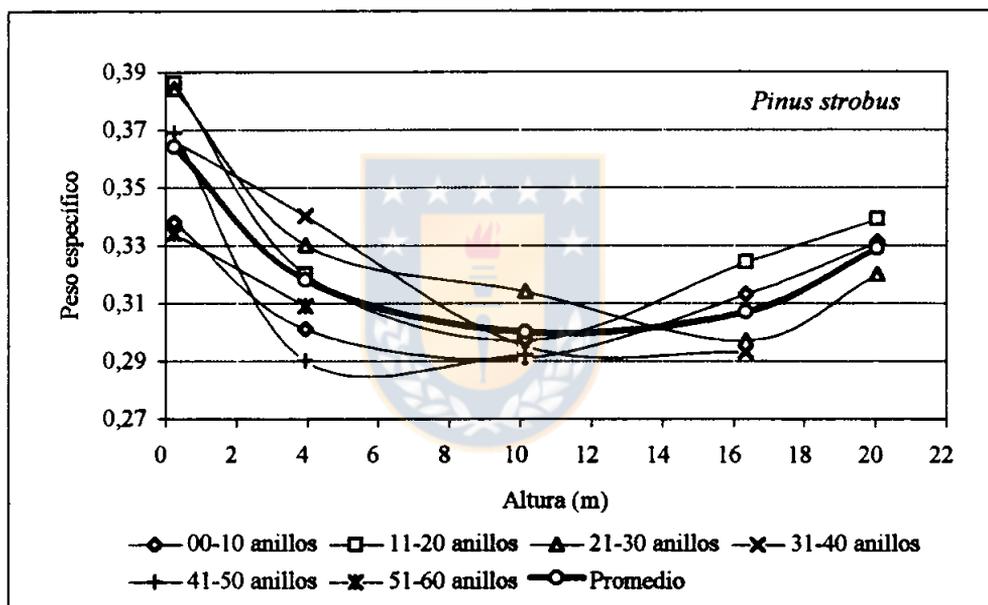


FIGURA 15. Tendencia del peso específico promedio ponderado a volumen saturado de los incrementos según número de anillos desde la médula en relación a la altura del árbol N^o 1 de *Pinus strobus* L..

En efecto, para el ejemplar N^o 1, con valores de baja dispersión relativa en torno al promedio ponderado, la influencia de los sectores juveniles y de transición elevan los valores de peso específico, situación que se observa en la Figura 15. Nótese que el sector intraincremental 21 a 30 anillos presenta valores elevados a todo lo largo del fuste, si bien con un comportamiento semejante al promedio.

La Figura 16 muestra la tendencia adoptada por los valores de peso específico a volumen saturado en la madera del ejemplar N^o 2 en diferentes alturas sobre al fuste. Observamos, como en casos previos, que la mayor dispersión de los valores en torno al promedio corresponde a la madera localizada en el sector basal (0,25 m). Sobre este nivel, los valores se sitúan más próximos al valor medio; adoptando en general, una tendencia constante con la altura.

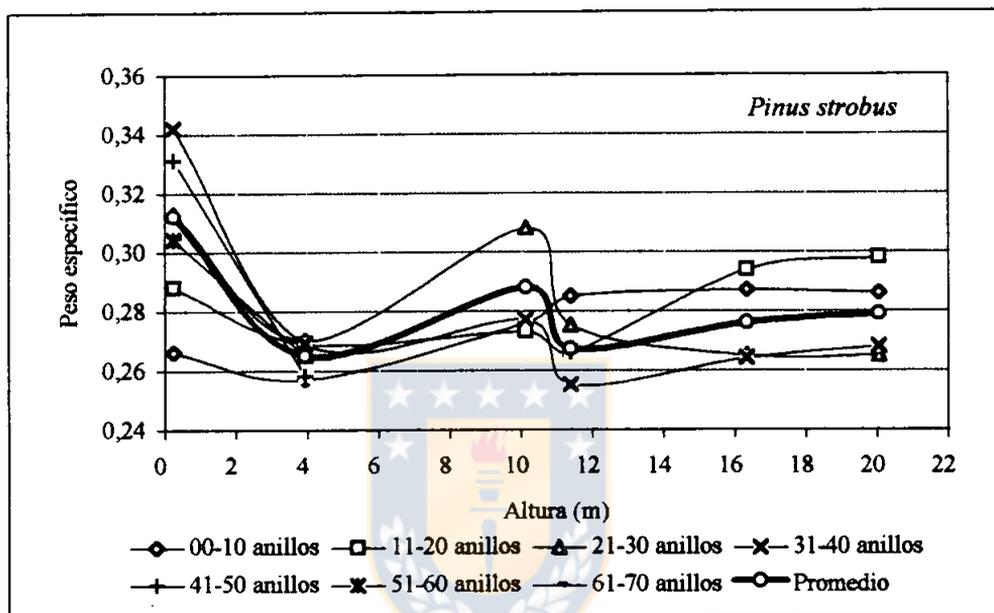


FIGURA 16. Tendencia del peso específico promedio ponderado a volumen saturado de los incrementos según número de anillos desde la médula en relación a la altura del árbol N^o 2 de *Pinus strobus* L..

La Figura 17 muestra el comportamiento seguido por el peso específico promedio ponderado a diferentes alturas en el árbol N^o 3. Notamos, a diferencia de los restantes ejemplares de la especie, una mayor concentración de los valores en torno al promedio ponderado en la madera de tocón, fenómeno al que escapa el sector de edad entre cero y diez años. A igual que el ejemplar N^o 1, este individuo ofrece un marcado incremento de los valores de peso específico hacia la copa; lo que obedecería a la ya analizada influencia de madera juvenil de alto peso específico o a la posible existencia de madera de

compresión en un porcentaje tal que explique el comportamiento detectado; ésta, como ya se ha dicho, producto de la conicidad relativa del fuste, de la presencia de áreas nudosas o debida a la oscilación permanente por efecto del viento. Lo anterior, sirva también como explicación para similares situaciones ya informadas en ejemplares precedentes.

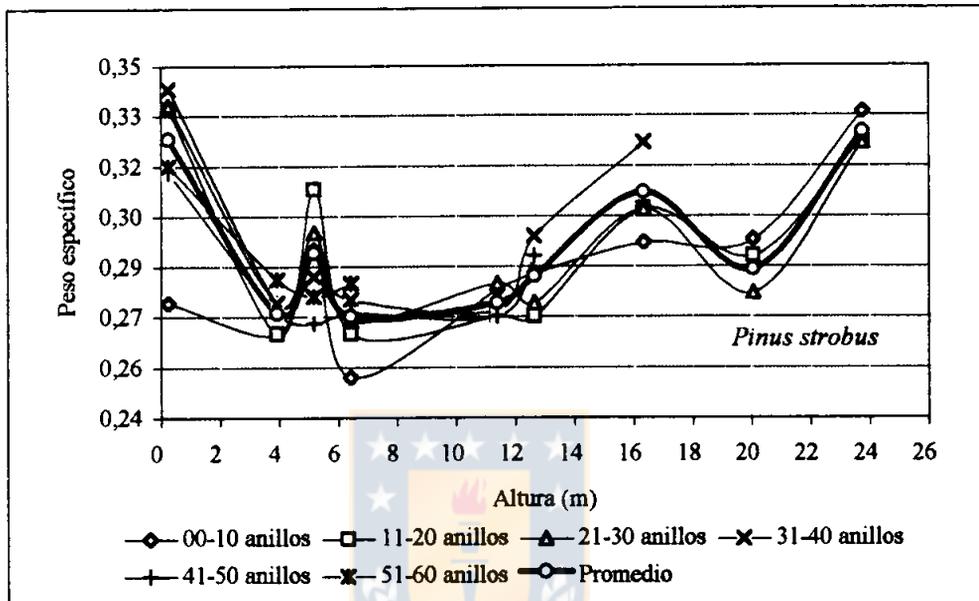


FIGURA 17. Tendencia del peso específico promedio ponderado a volumen saturado de los incrementos según número de anillos desde la médula en relación a la altura del árbol N° 3 de *Pinus strobus* L..

Finalmente, cabe hacer notar aquí, que de las rodelas seleccionadas para experimentación, el autor pudo evidenciar un alto contenido de humedad; el que se mantuvo por un período de casi dos años en aquel material reservado para estudios químicos y que, por diversas razones, no pudo ser utilizado totalmente. Lo anterior, y corroborado por la observación visual de las proporciones de madera de primavera y verano en cada anillo anual, indicaría un alto contenido de madera temprana en el árbol, lo que explicaría también los bajos valores de peso específico para la especie, considerando, precisamente,

que la madera generada en la primera etapa del ciclo de crecimiento anual -madera de primavera- es la que cumple principalmente la función de transporte de agua.

4.2.2 Tendencia del peso específico en relación a la edad fisiológica del árbol. En la Tabla 5 se resumen los resultados obtenidos en las determinaciones de peso específico ponderado en la dirección radial desde médula a corteza para las tres especies estudiadas.

TABLA 5. PESO ESPECIFICO PROMEDIO PONDERADO A VOLUMEN SATURADO EN RELACION A LA EDAD FISIOLÓGICA DEL ÁRBOL (NUMERO DE ANILLOS DESDE LA MEDULA) SEGUN ESPECIE.

Número de anillos desde la médula	Especie		
	<u>Picea obovata</u>	<u>Chamaecyparis lawsoniana</u>	<u>Pinus strobus</u>
00-10	0,348	0,383	0,286
11-20	0,354	0,364	0,296
21-30	0,363	0,357	0,297
31-40	0,390	0,367	0,298
41-50	0,409	0,354	0,290
51-60	0,412	0,367	0,299
61-70	-	0,382	0,305

Las tendencias seguidas por los valores presentados se exponen en la Figura 18. El análisis de los mismos, se presenta según el orden establecido en la mencionada Tabla.

Para Picea obovata Ledeb. se observa un claro aumento del peso específico promedio ponderado con la edad del árbol. Tal tendencia, sin embargo, se presenta según diferentes tasas de incremento. En efecto, entre 0 y 30 años, la pendiente de la curva es moderada; variando los valores entre 0,348 y 0,363. En tanto, un incremento del 4,9% se presenta entre los 31 y 50 años; edades en que el rango de variación alcanza el valor de 0,019. Por otra parte, sobre los 50 años la pendiente de la curva disminuye, producto de que el incremento de peso específico en la periferia de la zona basal (últimos 10 años), es mínimo (ver Tabla 16A).

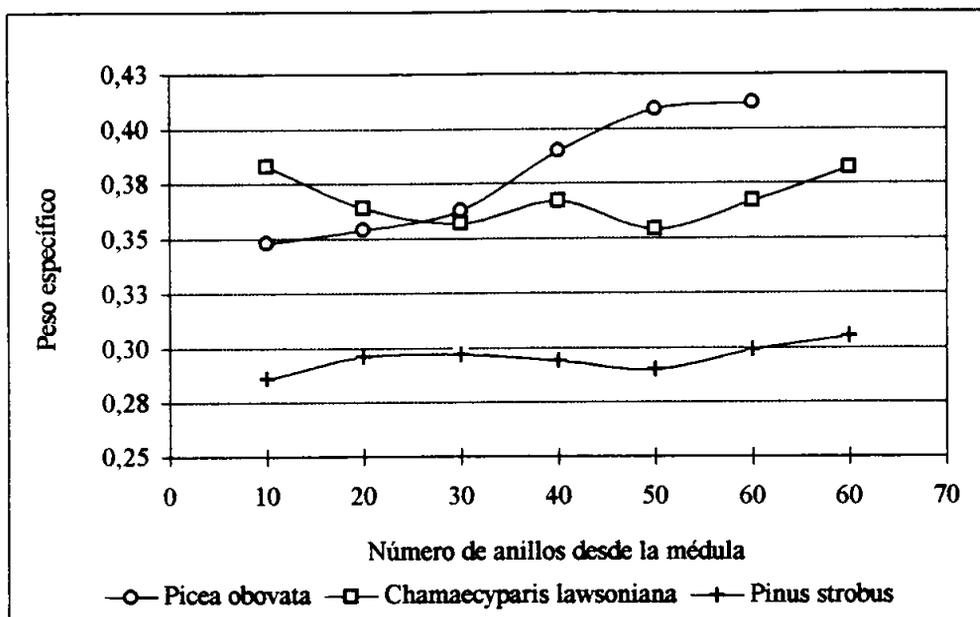


FIGURA 18. Tendencia del peso específico promedio ponderado a volumen saturado de los incrementos en relación al número de anillos desde la médula según especie.

La Figura 19 muestra la tendencia del peso específico promedio ponderado a volumen saturado en relación a la altura del árbol para los diversos sectores intraincrementales medidos en la especie Picea obovata Ledeb..

Hacia el tocón, es decir, en los 0,25 m sobre el árbol, los valores están muy por sobre el promedio ponderado e inciden notablemente en él, particularmente, entre los 0 y 31 anillos anuales. Parecería ser que, tal como se expuso en análisis anteriores, la madera de tocón presenta características particulares que la hacen ser muy distinta de la del resto del árbol. En la zona intraincremental 31 a 40 años el descenso es notable; aun por bajo la media, sin embargo, esto se explica por la influencia sobre el promedio ponderado del árbol N^o 1 que, con un peso específico de 0,321, hace bajar el valor medio a 0,379.

Desentendiéndonos de la zona de tocón, comprobamos que los valores de peso específico entre los 0 y 10 años de edad fisiológica superan en todos los niveles de altura el valor de 3,95 m; lo que se verifica también entre los 11 y 20 años; excepto para los 10,15 m y

16,15 m, niveles que, sin embargo, presentan valores similares a la altura de referencia. De lo anterior, ratificaríamos la posible existencia de madera tipo top-wood, entendida ésta como la juvenil de copa de mayor peso específico.

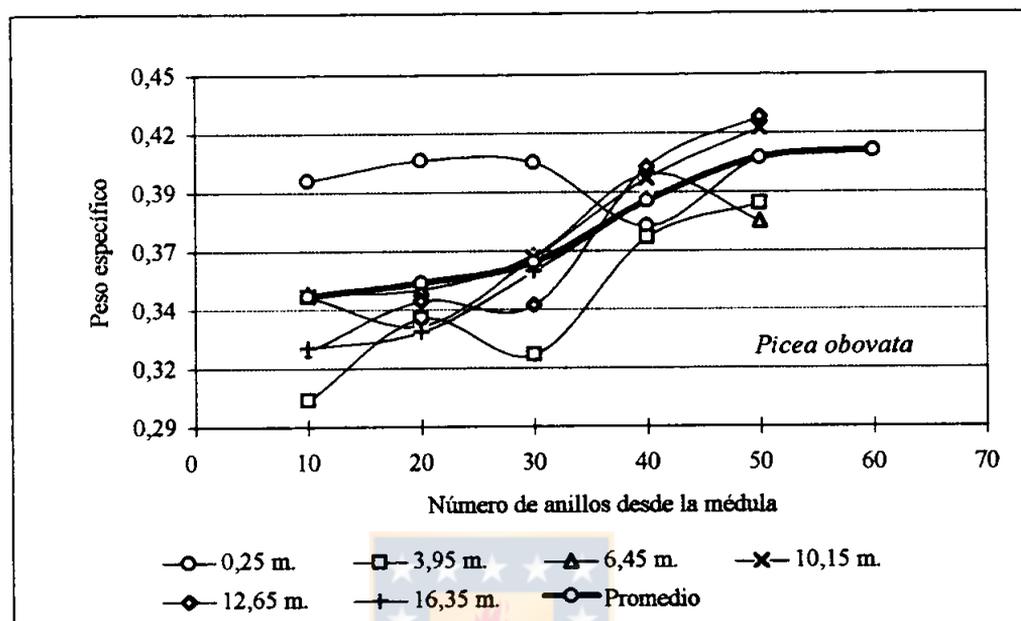


FIGURA 19. Tendencia del peso específico promedio ponderado a volumen saturado de los incrementos en relación al número de anillos desde la médula de acuerdo a la altura del árbol en la especie *Picea obovata* Ledeb..

La presencia de madera nudosa y de compresión -a manera de explicación del fenómeno en discusión- de mayor peso específico, tampoco es descartable; más aún, tratándose de árboles no podados y creciendo en sitios en los que el viento y nieve son frecuentes, al menos en cierto período del año (situación informada por CONAF, 1975).

Continuando con el análisis, es posible deducir que en los últimos años la tasa de incremento del peso específico en la dirección radial decrece para todos los niveles; particularmente a los 0,25 m de altura, punto al cual se observa un incremento mínimo; lo que podría hacer pensar que el aumento de peso específico no es indefinido y que a cierta

edad (o distancia desde la médula) se alcanzaría un máximo, después de la cual ya no aumentaría; pudiendo incluso disminuir.

Finalmente, se detecta una posible influencia de la tasa de crecimiento sobre el peso específico de los ejemplares. En efecto, el árbol N^o 2 -el de menor d.a.p. de los individuos muestreados- presenta los valores más altos en la mayoría de los sectores intraincrementales y niveles de altura. Estas diferencias son notables en la madera juvenil (0 a 20 anillos) de todos los niveles y sólo se moderan para la madera adulta hacia los niveles superiores del fuste. Igualmente, las más fuertes diferencias se presentan entre este ejemplar y el árbol N^o 1, perteneciente a la clase del árbol de d.a.p. medio aritmético. Lo anterior es muy interesante, puesto que se esperaría -si la tasa de crecimiento fuera la explicatoria-, mayores diferencias con el árbol de mayor d.a.p.; lo que no sucede. Por el contrario, hacia las alturas superiores y mayores edades, las diferencias son mínimas y a favor del ejemplar N^o 3 (ver Tabla 4A, Tabla 5A, Tabla 6A y Tabla 16A).

De la Tabla 5 y Figura 18 es posible observar el comportamiento del peso específico con la edad del árbol en la especie Chamaecyparis lawsoniana (A. Murray) Parlatore. La tendencia seguida por esta propiedad del leño es aproximadamente constante. Si bien existen ciertas variaciones, éstas no son tan marcadas, presentándose la mayor diferencia entre los 0 y 10 años y los 11 a 20 años, con una disminución porcentual del 5%. El valor más bajo, equivalente a 0,354, se obtiene para el incremento 41 a 50 años. En la madera juvenil, correspondiente a los 20 primeros anillos, hay un descenso del peso específico desde la médula; descenso que se prolonga hasta los 30 años. La madera de transición -que sigue a la juvenil- muestra una tendencia aproximadamente constante, con un aumento entre 31 y 40 años. Luego, hacia la madera adulta de los últimos 30 anillos, el peso específico se incrementa en un 8%.

Si observamos ahora la Figura 20, cabe la discusión del comportamiento de la variable que nos ocupa según la edad fisiológica de la madera y su continuidad en altura. En ella se observa que los valores de peso específico en la zona de tocón siguen similar tendencia

que los correspondientes al promedio ponderado, en particular hasta los 30 años; edad tras la cual los valores sobrepasan el valor medio hasta pasados los 60 años de edad fisiológica. Esto tendría su explicación en que hacia la periferia del fuste en la zona basal, la madera es de carácter maduro y de mayor peso específico, aunque -tal como se ha mencionado previamente-, cierta influencia del sistema radicular y la naturaleza propia de madera afecta al desarrollo de contrafuertes basales, estaría provocando tan altos valores.

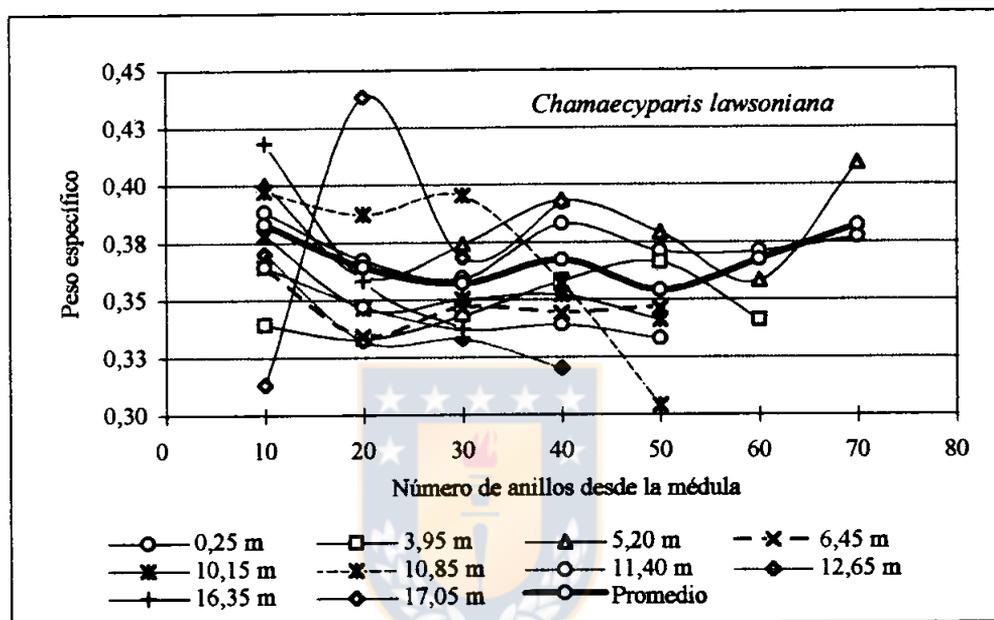


FIGURA 20. Tendencia del peso específico promedio ponderado a volumen saturado de los incrementos en relación al número de anillos desde la médula de acuerdo a la altura del árbol en la especie *Chamaecyparis lawsoniana* (A. Murray) Parlatore.

En los siguientes niveles de altura el comportamiento es errático, aunque se observa la mencionada disminución en la madera juvenil, al tiempo que las mayores irregularidades se presentan hacia la copa. Anteriormente ya fue discutido el posible efecto del desarrollo propio de ésta, la influencia de madera nudosa, de compresión y el papel que jugaría el abundante follaje y la forma del árbol sobre el peso específico de la madera de la especie, de tal modo que en tan erráticas tendencias no se descartarían tales efectos.

Nótese ahora que el valor promedio ponderado entre los anillos 60 y 70 está fuertemente afectado por el valor de peso específico a esa edad para el nivel de 5,20 m sobre el fuste; detectándose -en general- un descenso hacia la zona periférica, a excepción de los dos niveles de altura inferiores. Observando la madera juvenil hacia la copa, nos permitiríamos inferir la posibilidad de madera tipo top-wood. Finalmente, cabe la advertencia que los valores deben tomarse con precaución, toda vez que a varios niveles, los datos proceden tan sólo de uno de los ejemplares muestreados (ver Tabla 17A).

Respecto al efecto de la tasa de crecimiento en el peso específico de la madera de Chamaecyparis lawsoniana (A. Murray) Parlatore, reflejado a través de la diferencia de diámetros a igual edad entre individuos diferentes o a través del distinto ancho de anillos para iguales niveles y edades; lo más claro es que el árbol de mayor d.a.p. -esto es-, el árbol N^o 3 (con 64,0 cm a la altura del pecho), sobrepasa; al menos en aquellos niveles comparables de altura y edad, prácticamente todos los valores de peso específico de los dos restantes ejemplares. Igualmente, en este árbol se detectó un aumento de tal cualidad para todas las edades hasta los 5,20 m de altura; después de la cual las variaciones para cada incremento son fuertes y no definidas. Por otra parte, el ejemplar N^o 2 no presenta mayores diferencias con el individuo N^o 1, cuyos 47,0 cm de d.a.p. lo sitúan como el de menor incremento diametral.

El análisis precedente, ratifica lo aportado por la literatura respecto del confuso y contradictorio papel que juega la tasa de crecimiento sobre el peso específico de la madera.

Analizando ahora la información correspondiente a la especie Pinus strobus L. contenida en la Tabla 5 e ilustrada en la Figura 18 y en forma más detallada en la Figura 21; podemos, como primer aspecto, destacar la tendencia constante que siguen los valores de peso específico promedio ponderado a volumen saturado desde la médula hacia las capas externas; con un muy leve aumento sobre los 50 años, presentándose el mayor valor a fines de la madera adulta, zona en la cual el peso específico alcanza un promedio de

0,305. Dentro de la madera juvenil (cero a veinte anillo anual), el incremento porcentual alcanza el 3,5%, período al cual sigue un comportamiento sin mayores variaciones hasta la edad de 40 años, presentándose un leve descenso entre esta edad y los 50 años, finalizando con el mencionado aumento hacia la corteza.

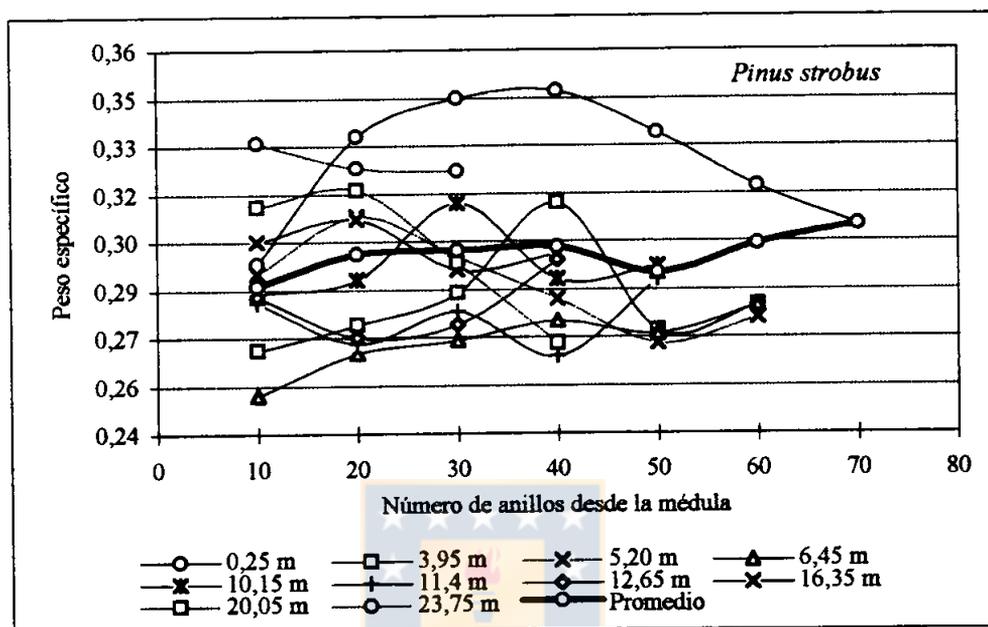


FIGURA 21. Tendencia del peso específico promedio ponderado a volumen saturado de los incrementos en relación al número de anillos desde la médula de acuerdo a la altura del árbol en la especie *Pinus strobus* L..

Tal como ocurrió con la especie precedente, la zona basal difiere en forma notoria de los valores y tendencias seguidas por los restantes niveles de altura. En efecto, hay aquí un fuerte incremento en la madera joven, siendo el aumento equivalente al 13,7% entre la médula y el anillo anual número veinte (ver Tabla 18A). Tales incrementos prosiguen (aunque a menores tasas) para la madera de transición (21 a 40 años); concluyendo con un descenso marcado hacia la periferia. Recurriendo a algunos de los argumentos expuestos con anterioridad en relación a este particular comportamiento, en especial al efecto de sistema radical, encontraríamos posibles explicaciones al fenómeno.

Observando en la Figura 21 la tendencia para los siguientes niveles de altura, es posible detectar que hasta los 6,45 m la madera juvenil incrementa sus valores desde el centro del fuste. En dichas edades el peso específico de la madera aumenta hacia la copa, lo que permitiría asociarlo a la ya discutida madera tipo top-wood. Por otro lado, en los niveles intermedios de altura, esto es, 10,5 m y 12,65 m, la tendencia seguida en el área juvenil no es definida. Sin embargo, entre 20 y 30 años de edad fisiológica dichos niveles presentan aumentos; los que se pierden hacia las siguientes edades para la primera altura. Hacia la zona periférica, la mayor parte de las alturas presentan incrementos en la propiedad estudiada; aunque bajo el valor medio, no obstante que éste es fuertemente afectado por el peso específico de la zona de tocón, lo que atestigüa una vez más, lo disímil de tal madera respecto de la del resto del fuste. De no mediar este efecto, es claro que el comportamiento observado hacia la zona periférica, sería un incremento algo más moderado; sino un decremento de los valores. Tal conducta, que no se ajusta en general, a lo esperado para coníferas, fue detectado sin embargo, por Brun (1965); Kollman y Coté (1968), Pearson y Gilmore (1971), citados por Vargas, (1991) y Zobel *et als.* (1972), citado por Delmastro *et als.*, (1980) en Pseudotsuga menziesii, Juniperus virginiana y Pinus elliottii, respectivamente.

Un aspecto importante de destacar y claramente observado por el autor, es el alto contenido de resina que presentaba la madera de la especie, tanto a nivel de duramen como de albura. Del mismo modo, notable es el proceso de duramización en la zona central del árbol, fenómeno que alcanzaba, aproximadamente, hasta los 40 años de edad. Por otra parte, hacia la corteza, es decir, los últimos diez a veinte años, se observa un mayor porcentaje de madera tardía dentro de cada anillo anual. Estos aspectos, sumados a la ya discutida relación entre el contenido de humedad y peso específico, pudieran en alguna medida, explicar la tendencia observada de esta cualidad en la madera de la especie en estudio.

En relación al efecto que juega el diámetro sobre el peso específico de la madera, claramente se verifica, al igual que en la especie anterior, que el árbol de menor d.a.p.

entrega los más bajos valores de peso específico, en tanto que el árbol N^o 1 (con 78,0 cm de d.a.p.), presenta los valores más altos, situación que se cumple para la mayoría de las edades y niveles de altura sobre el suelo. En efecto, el árbol N^o 2 (con 64,0 cm de d.a.p.), en comparación con este ejemplar, difiere más notoriamente hacia la zona de madera juvenil (incluyendo la etapa de 20 a 30 años) tanto para niveles inferiores del fuste -esto es, hasta 3,95 m- como hacia el extremo, es decir, sobre los 16,35 m de altura (ver Tabla 10A, Tabla 11A, Tabla 12A y Tabla 18A).

Hacia las mayores edades las diferencias entre estos dos árboles se mantienen aunque menos acentuadas. En relación al individuo de la clase diamétrica del árbol de d.a.p. medio (70,0 cm), vemos que muestra valores de peso específico dentro de los rangos fijados por los árboles previamente analizados.

4.3 Longitud de traqueida.

En la Tabla 3 se muestran los valores promedios ponderados de longitud de traqueida para cada una de las especies evaluadas. Claramente las cifras se ubican dentro de los rangos señalados para gimnospermas, siendo Picea obovata Ledeb. la especie que presenta el máximo valor, seguida de Pinus strobus L. y Chamaecyparis lawsoniana (A. Murray) Parlatore, a las cuales supera en un 0,8% y 9,4%, respectivamente.

En nuestro estudio, los rangos de variación detectados para esta propiedad del leño en cada especie se enmarcan dentro de lo esperable. Así, para Picea Siberiana, la longitud mínima (1,96 mm) se determinó en 0,25 m dentro de los diez primeros anillos, en tanto, el valor máximo (3,35 mm) se presentó entre 31 y 40 años de edad fisiológica (madera madura), a nivel de la altura media (ver Tabla 19A). En el caso de Ciprés de Lawson, coincidentemente, el menor valor de longitud celular se presentó a nivel de tocón en la zona de madera juvenil, más precisamente dentro de los diez primeros incrementos anuales; valor mínimo que alcanzó tan sólo 1,28 mm. La máxima longitud detectada (3,16 mm) se situó dentro de los 21 a 30 anillos a nivel de 10,15 m de altura sobre el árbol (ver Tabla 20A). Finalmente, para Pino Blanco del Este; a diferencia de los casos

anteriores, el menor valor de longitud de traqueida (1,82 mm) se encontró a nivel de la máxima altura, esto es, 23,75 m; y el mayor valor de longitud (3,31 mm) se detectó en la altura media (11,40 m) y entre los anillos números 41 y 50; es decir, hacia la periferia del fuste (ver Tabla 21A).

4.3.1 Tendencia de la longitud de traqueida en relación a la altura del árbol. A través de la Tabla 6 podemos reconocer la tendencia seguida por los valores de longitud de traqueida hacia la copa del árbol.

TABLA 6. PROMEDIO PONDERADO DE LONGITUD DE TRAQUEIDA EN RELACION A LA ALTURA DEL ARBOL SEGUN ESPECIE.

Altura (m)	Longitud de traqueida según especie (mm)		
	<u>Picea obovata</u>	<u>Chamaecyparis lawsoniana</u>	<u>Pinus strobus</u>
0,25	2,54	1,73	2,52
10,15	2,80	2,65	-
11,40	-	-	2,86
16,35	2,56	2,44	-
23,75	-	-	2,42

De acuerdo con los resultados obtenidos, sólo podemos establecer que el largo celular aumenta desde la base del árbol hasta cierta altura en el fuste, disminuyendo en lo sucesivo progresivamente hacia las partes altas del mismo.

Las tendencias determinadas en este estudio quedan ilustradas en la Figura 22; ella muestra la relación existente entre la altura del árbol y el largo de traqueida en la madera de las tres especies estudiadas.

Según la Figura 22 y Tabla 6, la máxima longitud de traqueida se alcanza a los 10,15 m para Picea Siberiana y Ciprés de Lawson, no así para Pino Blanco del Este; ejemplar para el cual ^{ello} ocurre a los 11,40 m, alcanzando a su vez, una variación equivalente al 13,5% entre la base y la zona de máximo incremento; lo que lo distingue del 10,2% y 54,1%

alcanzada por las dos primeras especies, respectivamente. Hacia la copa en tanto, la mayor variación la presenta *Pinus strobus* L., con un 15,4% en relación al valor máximo, *Chamaecyparis lawsoniana* (A. Murray) Parlatore, por otro lado, muestra un diferencia del 7,9% y, finalmente, *Picea obovata* Ledeb., disminuye su promedio ponderado para igual sector de altura en un 8,6%.

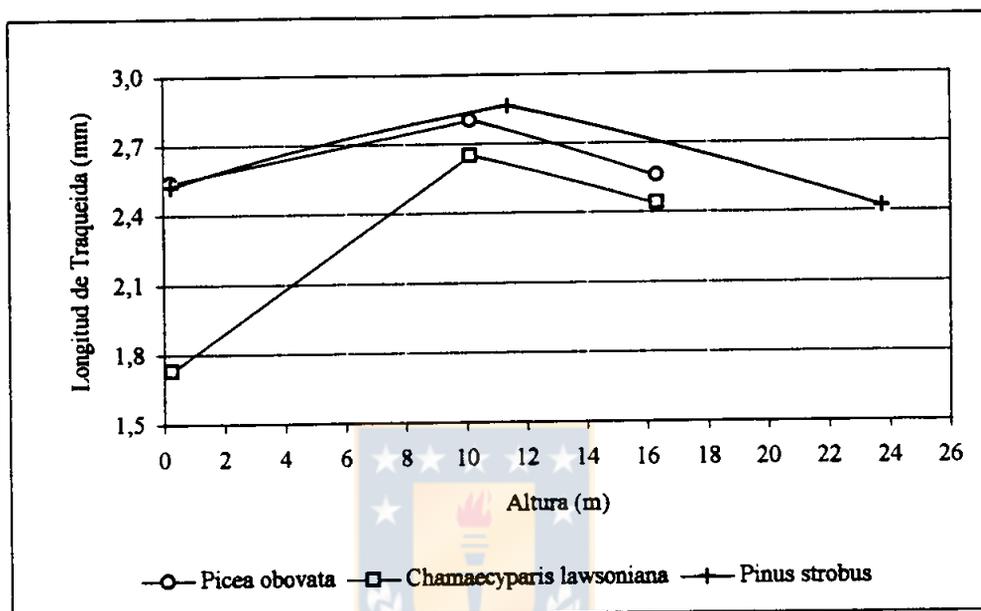


FIGURA 22. Tendencia del promedio ponderado de la longitud de traqueida en relación a la altura del árbol según ejemplar muestreado en cada especie.

Analizando ahora el comportamiento de la propiedad atendida a lo largo del fuste según sectores intraincrementales equivalentes (ilustrado para cada especie a través de las Figura 23, Figura 24 y Figura 25, respectivamente); vemos que en todos los casos, la zona de madera juvenil entrega las menores longitudes (se exceptúa *Picea Siberiana* en 0,25 m entre 11 y 20 años). En efecto, para el primer sector intraincremental las longitudes están muy por debajo del promedio ponderado, especialmente al nivel donde se alcanza el máximo valor en cada especie. Hacia la zona de tocón, las diferencias de la madera joven con respecto a este valor medio, son menores y relativamente semejantes a las existentes a similares edades en la madera de copa; área en la cual, en el caso de

Chamaecyparis lawsoniana (A. Murray) Parlatore, el valor se acerca claramente al promedio. Por otra parte, entre el 11 y 20 anillo anual, la tendencia es semejante a la seguida por los valores medios, regla a la que escapa Picea obovata Ledeb. (ver Tabla 19A, Tabla 20A y Tabla 21A).

La Figura 23 especifica la tendencia de la longitud de traqueida según altura en madera de la especie Picea obovata Ledeb..

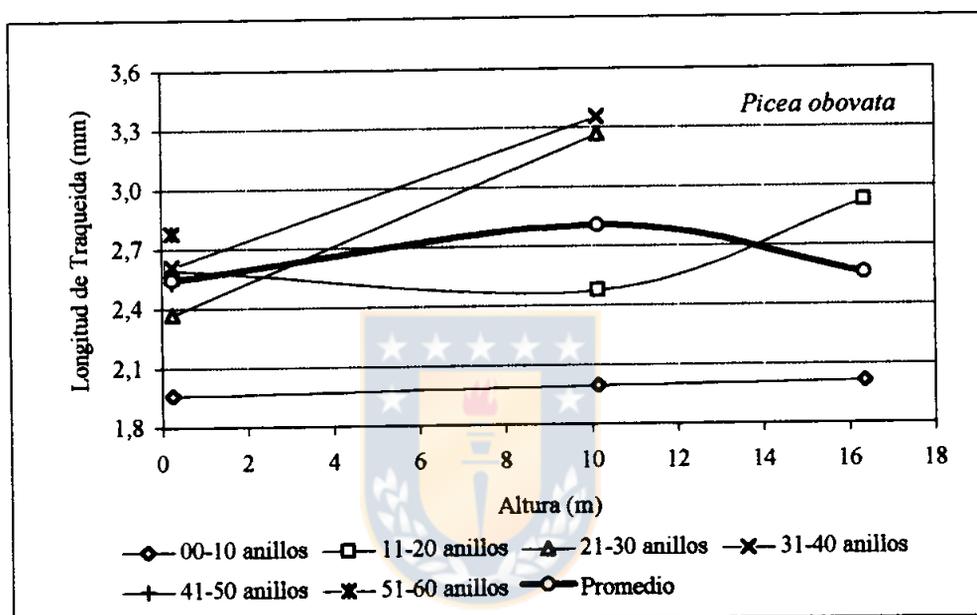


FIGURA 23. Tendencia del promedio ponderado de longitud de traqueida en relación a la altura del árbol de Picea obovata Ledeb. según sectores intraincrementales equivalentes.

La Figura 24 ilustra el comportamiento del largo de traqueida en la madera de Chamaecyparis lawsoniana (A. Murray) Parlatore. A través de ella podemos detectar la mayor semejanza de la longitud celular entre los sectores intraincrementales correspondientes a las mayores edades; situación que se cumple en los niveles de altura inferior y medio (ver Tabla 20A). En efecto, especialmente hacia el tocón, las dimensiones en los anillos de madera periférica son muy similares. El mismo

comportamiento se presenta también en las maderas de Picea obovata Ledeb. y Pinus strobus L..

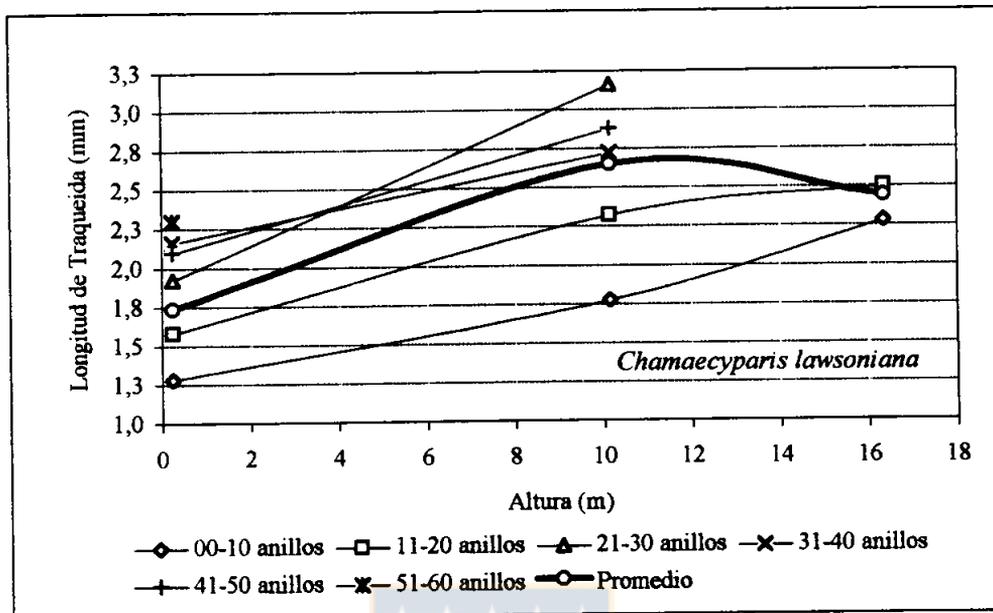


FIGURA 24. Tendencia del promedio ponderado de longitud de traqueida en relación a la altura del árbol de Chamaecyparis lawsoniana (A. Murray) Parlatores según sectores intraincrementales equivalentes.

En la Figura 25 se presenta la tendencia adoptada por los valores de longitud de traqueida según tres diferentes niveles de altura en el árbol de Pino Blanco del Este. Destaca en esta especie las mismas pautas anteriores; esto es, bajos valores para la madera juvenil próxima a la médula y valores superiores de longitud celular en la zona externa. Cabe señalar la notable diferencia que muestra el comportamiento de la calidad medida entre las coníferas estudiadas en los primeros diez años de edad fisiológica. Mientras Picea obovata Ledeb. y Pinus strobus L. adoptan una tendencia prácticamente constante con la altura; aumentando gradualmente hacia el extremo en el primer caso, y disminuyendo en forma leve en el segundo; la especie Chamaecyparis lawsoniana (A. Murray) Parlatores incrementa sus valores entre la base y la copa en un 78,1%, lo que difiere notablemente de lo aportado por la literatura respecto a esta variación (ver Tabla 20A).

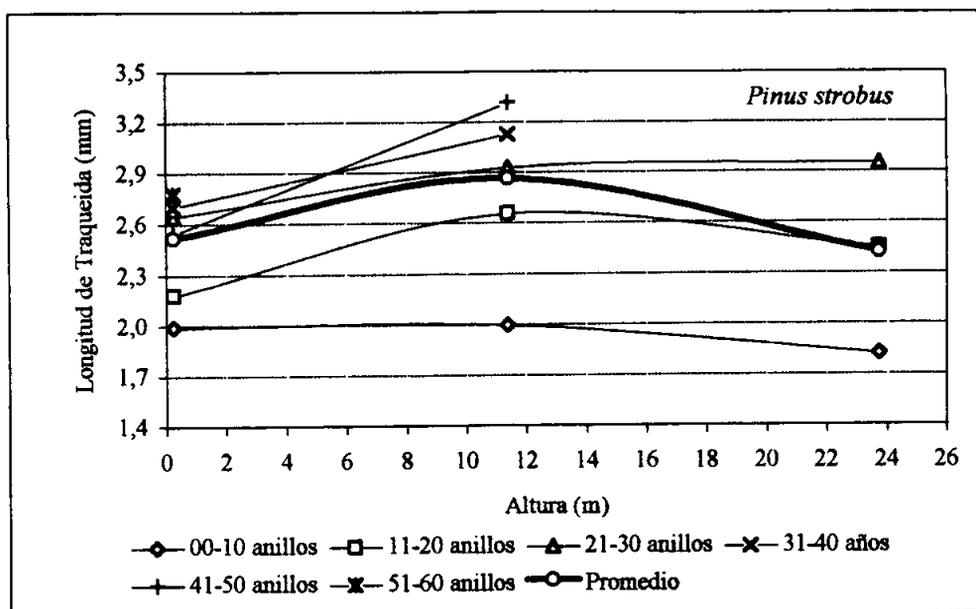


FIGURA 25. Tendencia del promedio ponderado de longitud de traqueida en relación a la altura del árbol de *Pinus strobus* L. según sectores intraincrementales equivalentes.

Siguiendo con el análisis de los resultados, obsérvese ahora el comportamiento de la madera adulta y de transición. Por sobre los 20 años de edad -suponiendo que ella marca el límite de la madera joven- la longitud de traqueida supera el promedio ponderado; con tasas de incremento, en general, más pronunciadas que aquellas de la zona de referencia.

4.3.2 Tendencia de la longitud de traqueida en relación a la edad fisiológica del árbol. En la Tabla 7 podemos reconocer la tendencia seguida por los valores promedios ponderados de longitud de traqueida hacia la periferia del fuste.

Los valores recogidos en esta investigación -resumidos en la Tabla 7 e ilustrados en la Figura 26- corroboran la clásica tendencia: un aumento de la longitud celular a medida que nos alejamos del eje central del árbol, para luego alcanzar un valor constante o descender hacia la corteza. En efecto, para las tres coníferas analizadas se observa un incremento de la longitud celular con la edad fisiológica, tendiendo a la estabilización hacia la periferia del tronco.

TABLA 7. PROMEDIO PONDERADO DE LONGITUD DE TRAQUEIDA EN RELACION A LA EDAD FISIOLÓGICA DEL ÁRBOL (NÚMERO DE ANILLOS DESDE LA MEDULA) SEGUN ESPECIE.

Número de anillos desde la médula	Longitud de traqueida según especie (mm)		
	<i>Picea obovata</i>	<i>Chamaecyparis lawsoniana</i>	<i>Pinus strobus</i>
00-10	2,00	1,46	1,97
11-20	2,67	1,79	2,43
21-30	3,00	2,12	2,83
31-40	2,83	2,50	2,91
41-50	2,53	2,45	2,94
51-60	2,78	2,30	2,77

De este modo, Siberian Spruce alcanza el máximo promedio ponderado entre los 21 y 30 años de edad (3,00 mm); máximo que para Lawson Cypress se presenta entre los 31 y 40 años (2,50 mm); en tanto que con una estabilización de sus valores entre los anillos 21 y 50, Eastern White Pine alcanza en esta última etapa su máximo valor (2,94 mm).

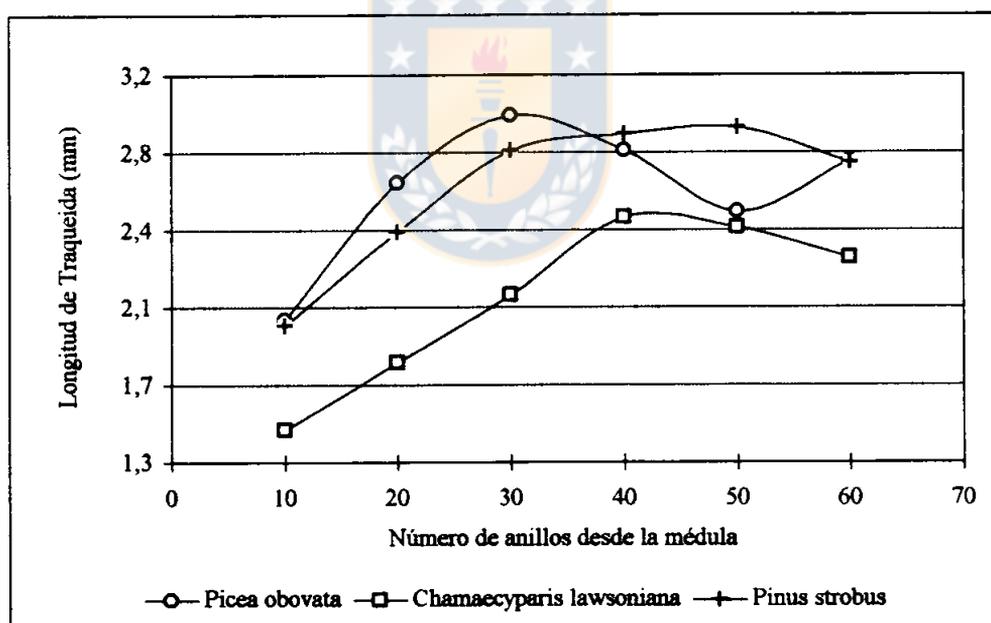


FIGURA 26. Tendencia del promedio ponderado de la longitud de traqueida en relación a la edad fisiológica del árbol (número de anillos desde la médula) según ejemplar muestreado en cada especie.

Estudiando ahora las tasas de incremento ofrecidas por el desarrollo celular, y considerando las variaciones a partir de la médula; reparamos que para los tres ejemplares la máxima tasa de desarrollo ocurre entre ésta y el período intraincremental 11 a 20 anillos. En particular, Picea obovata Ledeb. presenta el curso de desarrollo más pronunciado, equivalente a un incremento del 33,5%; superando a las dos especies acompañantes, cuyas tasas de variación no sobrepasan el 24% a esos niveles.

Para Ciprés de Lawson y Pino Blanco del Este, la tasa de incremento sigue un ritmo creciente a través de la madera de transición, el que se atenúa con tendencia a la estabilización a mayores edades, situación que se hace más evidente para esta última conífera. Al parecer, a diferentes tasas y en distinto momento fisiológico, ocurriría un decremento de la longitud de este elemento leñoso hacia las capas de crecimiento exteriores, fenómeno que se observa algo más pronunciado en la madera de Chamaecyparis lawsoniana (A. Murray) Parlatore y más prematuro en Picea obovata Ledeb..

La cuestión más obvia que desentraña el análisis anterior, es que la madera joven tendría una particular conducta en el desarrollo de la longitud de traqueida; tanto en radio como en altura.

Analizando para cada especie el comportamiento de la longitud de traqueida en tres diferentes niveles de altura -el que queda ilustrado en la Figura 27, Figura 28 y Figura 29 que más adelante se exponen-, apreciamos con claridad que el incremento de la longitud desde la médula hacia la corteza se cumple en todos los casos; siendo la zona de tocón la que muestra las menores longitudes en relación a los dos restantes niveles de altura.

La Figura 27 ilustra el comportamiento de la longitud celular en la dirección radial en la madera de Picea obovata Ledeb.. Nótese que a distintos niveles de altura en el árbol, ante similares tendencias, las tasas de incremento más elevadas las ofrece la madera juvenil (0 a 20 anillos).

Los menores valores de longitud en la madera de tocón; a los que se a hecho mención con anterioridad y que son más evidentes en *Chamaecyparis lawsoniana* (A. Murray) Parlatore, se detectan a partir de los 21 años en la madera de *Picea obovata* Ledeb., ya que entre 11 y 20 años, prácticamente no existe diferencia con los valores de longitud correspondientes a los 10,15 m. En dicha altura, para ésta y las dos restantes especies, encontramos los máximos valores de longitud de traqueida (ver Tabla 19A, Tabla 20A y Tabla 21A), siendo la excepción la madera juvenil de copa de los ejemplares correspondientes a Ciprés de Lawson y *Picea Siberiana*; lo que no deja de ser notable en virtud a lo señalado anteriormente respecto a las cualidades de la madera de carácter juvenil.

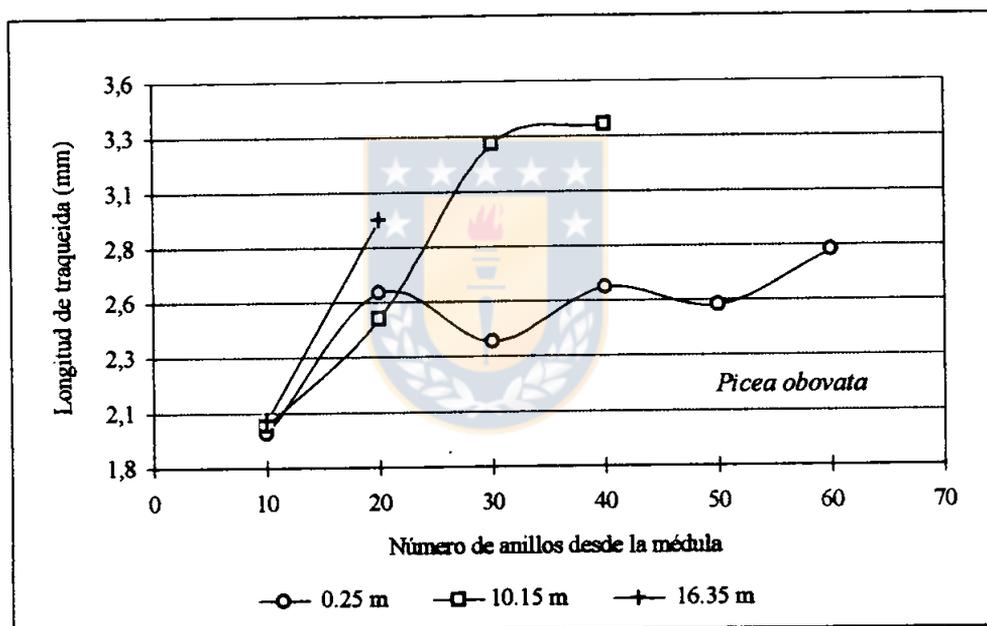


FIGURA 27. Tendencia de los valores de longitud de traqueida en relación a la edad fisiológica del árbol (número de anillos desde la médula) según tres diferentes niveles de altura en el ejemplar muestreado de *Picea obovata* Ledeb..

La Figura 28 muestra el comportamiento de la longitud de traqueida desde médula a corteza según diferentes niveles de altura en el fuste de Ciprés de Lawson.

En general, a medida que se asciende en altura, la tasa de incremento del largo de traqueida en el sentido transversal en el fuste se hace cada vez mayor. Dentro del mismo punto en discusión, en la especie *Chamaecyparis lawsoniana* (A. Murray) Parlatores al igual que en *Picea obovata* Ledeb. y *Pinus strobus* L., los más fuertes incrementos en los valores de la propiedad biométrica medida se presentan en la madera joven, independiente de nivel de altura sobre el árbol que se trate; tasas que se prolongan hasta el sector intraincremental 21 a 30 anillos al nivel de la altura intermedia en la madera de las dos primeras especies mencionadas.

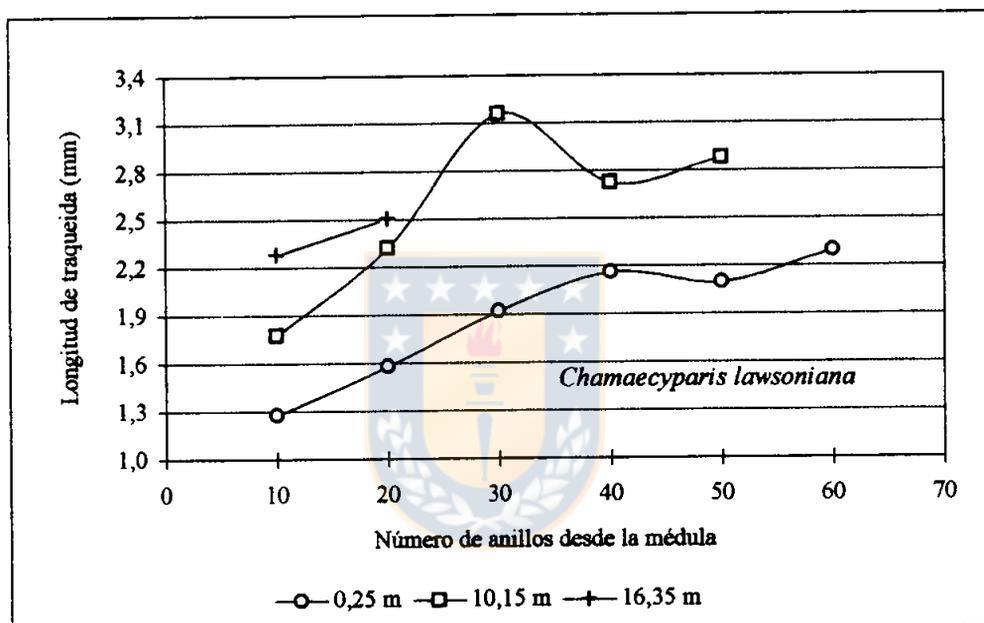


FIGURA 28. Tendencia de los valores de longitud de traqueida en relación a la edad fisiológica del árbol (número de anillos desde la médula) según tres diferentes niveles de altura en el ejemplar muestreado de *Chamaecyparis lawsoniana* (A. Murray) Parlatores.

La Figura 29 expone el comportamiento detectado en la madera de *Pinus strobus* L. para la variable longitud de traqueida, desde el centro hacia la periferia del árbol según distintos niveles de altura en el fuste.

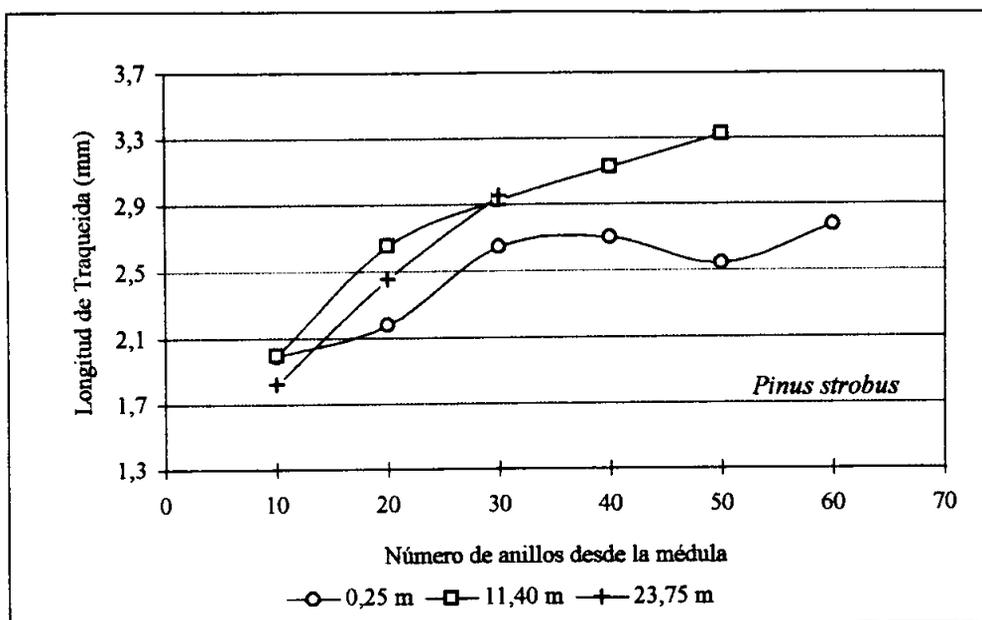


FIGURA 29. Tendencia de los valores de longitud de traqueida en relación a la edad fisiológica del árbol (número de anillos desde la médula) según tres diferentes niveles de altura en el ejemplar muestreado de *Pinus strobus* L..

4.4 Coarseness de madera.

Observando los valores expuestos en la Tabla 3, vemos que los promedios ponderados de coarseness de madera determinados en esta investigación se encuentran dentro del rango sugerido para coníferas. En efecto, *Pinus strobus* L. presenta el máximo promedio ponderado (17,99 mg/100m), superando a *Picea obovata* Ledeb. en, apenas, un 1,9%, diferencia que es más notable en el caso de *Chamaecyparis lawsoniana* (A. Murray) Parlatores, especie a la cual sobrepasa en un 33,3%. Por otra parte, *Pinus strobus* L. y *Picea obovata* Ledeb., presentan los más amplios márgenes de variación, con valores extremos de 12,89 dg y 24,23 dg, y de 12,57 dg y 24,68 dg, respectivamente. *Chamaecyparis lawsoniana* (A. Murray) Parlatores en tanto, entrega un rango de valores que va desde 9,81 dg a 17,03 dg (ver Tabla 22A, Tabla 23A y Tabla 24A).

4.4.1 Tendencia del coarseness de madera en relación a la altura del árbol. A través de la Tabla 8 es posible reconocer la tendencia seguida por los valores de coarseness de madera hacia la copa del árbol.

TABLA 8. PROMEDIO PONDERADO DE COARSENESS DE MADERA EN RELACION A LA ALTURA DEL ARBOL SEGUN ESPECIE.

Altura (m)	Coarseness de madera según especie (dg)		
	<u>Picea obovata</u>	<u>Chamaecyparis lawsoniana</u>	<u>Pinus strobus</u>
0,25	16,35	13,78	20,60
10,15	19,48	12,34	-
11,40	-	-	19,10
16,35	16,44	11,68	-
23,75	-	-	16,47

El comportamiento seguido por la variable estudiada en ésta y las restantes especies, se puede apreciar gráficamente en la Figura 30.

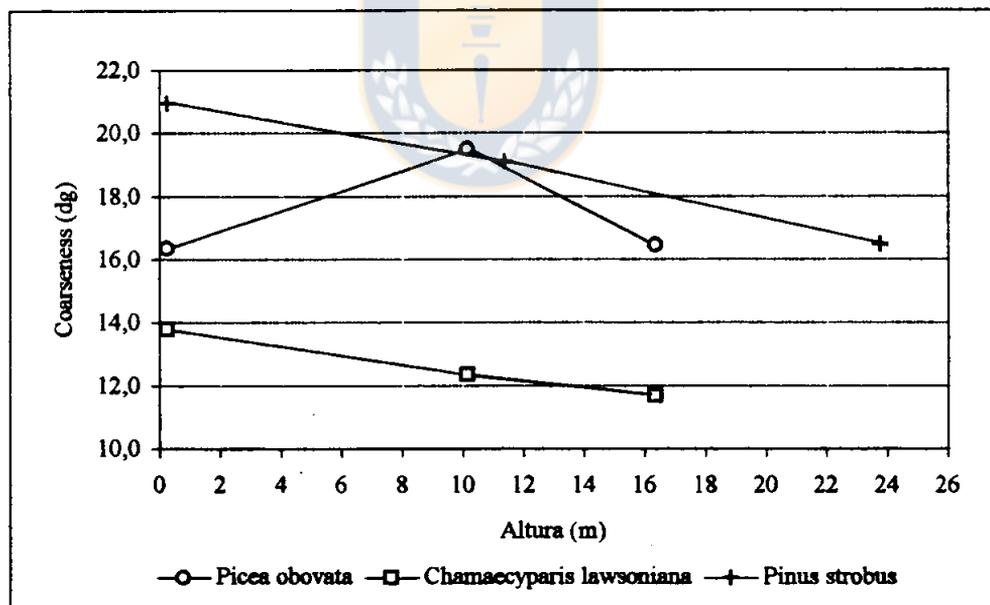


FIGURA 30. Tendencia del promedio ponderado de coarseness de madera en relación a la altura del árbol según ejemplar muestreado en cada especie.

En *Picea obovata* Ledeb., al igual que en el caso de la longitud de traqueida, sólo podemos deducir que el coarseness aumenta desde la base del árbol hasta cierta altura en el fuste, tras lo cual su magnitud disminuye hacia la copa. Así, se presenta una diferencia entre el extremo basal y la zona de máximo incremento equivalente al 19,1%; sólo levemente superior a la existente entre dicho punto y la copa, la que alcanza al 15,6%.

La Figura 31 nos permite observar que el menor valor de coarseness para *Picea Siberiana* se obtiene para el primer sector intraincremental a nivel basal (12,57 mg/100m), encontrándose el máximo valor entre 31 y 40 años en los 10,15 m sobre el fuste (24,68 mg/100m). De igual manera, destacamos que en los primeros diez anillos la tendencia de los valores no presenta mayor variación con la altura, siendo a su vez, el sector fisiológico que entrega los menores valores del atributo evaluado; distinguiéndose claramente de las edades superiores en todas las alturas, cuyos valores difieren fuertemente de esta primera zona intraincremental; situación que se hace más evidente en el nivel medio, altura donde se alcanzan las mayores diferencias entre la madera joven y la madura (ver Tabla 22A).

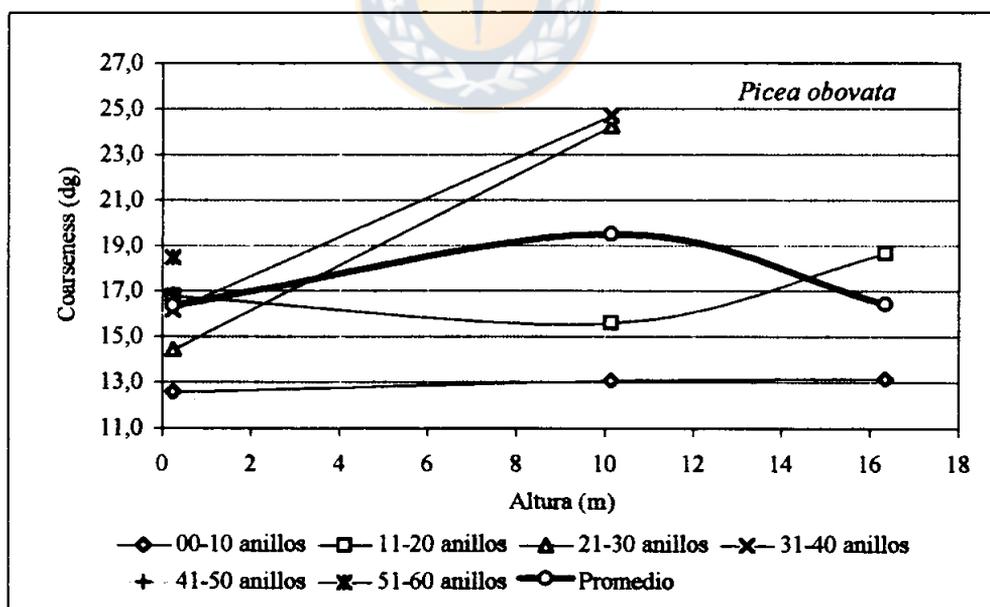


FIGURA 31. Tendencia del promedio ponderado de coarseness de madera en relación a la altura del árbol de *Picea obovata* Ledeb. según sectores intraincrementales equivalentes.

Esto último ratificaría lo apuntado en páginas anteriores en relación a las características morfológicas particulares de estas dos zonas de madera; característica que la literatura atribuye en gran medida al efecto del desarrollo propio de la copa y a la naturaleza del cilindro cambial.

Para *Chamaecyparis lawsoniana* (A. Murray) Parlato, el comportamiento es bastante diferente al de la especie precedente, tanto en la tendencia seguida como por los valores alcanzados. Observando la Figura 30 y Tabla 8 se detecta un descenso constante y progresivo del coarseness con el incremento de la altura en el árbol, siendo la variación porcentual entre la zona basal y la copa del orden del 15,2%. Nótese en la Figura 32, la acentuada similitud de los valores promedios ponderados y los correspondientes a las edades entre 11 y 20 años.

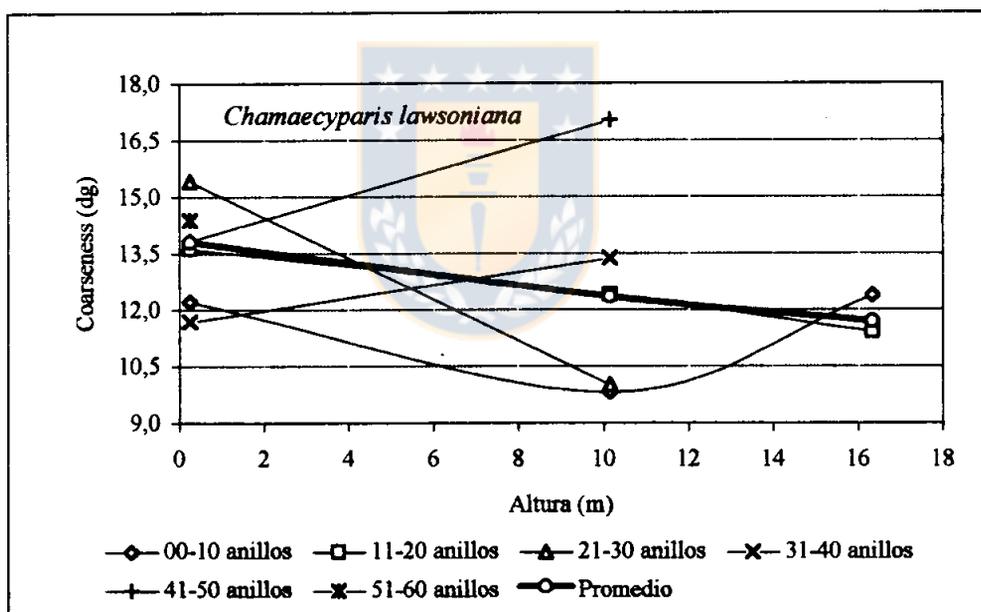


FIGURA 32. Tendencia del promedio ponderado de coarseness de madera en relación a la altura del árbol de *Chamaecyparis lawsoniana* (A. Murray) Parlato según sectores intraincrementales equivalentes.

Al igual que en *Picea Siberiana*, las más fuertes diferencias se presentan alrededor de los 10,15 m; en esta altura se determinan precisamente los valores extremos de coarseness;

presentándose el valor máximo entre los 41 y 50 años (17,02 dg) y el mínimo entre los 0 y 10 años de edad fisiológica (9,81 dg) (ver Tabla 23A).

En la Figura 32 podemos observar que a diferencia de Picea obovata Ledeb., en Chamaecyparis lawsoniana (A. Murray) Parlatore la distinción entre madera juvenil y adulta no es tan clara, y sólo entre 31 y 50 años se observa un aumento desde la base hacia la altura media.

La especie Pinus strobus L., finalmente, muestra los mayores valores de coarseness y, como lo expone la Tabla 8 y la Figura 30, la tendencia adoptada es la de una disminución con el incremento en altura, alcanzándose una tasa de variación entre la base y la copa del 20,0%, para un rango de 20,60 mg/100m a 16,47 mg/100m.

La Figura 33 muestra la relación encontrada entre el coarseness de madera y la altura del árbol según sectores intraincrementales equivalentes .

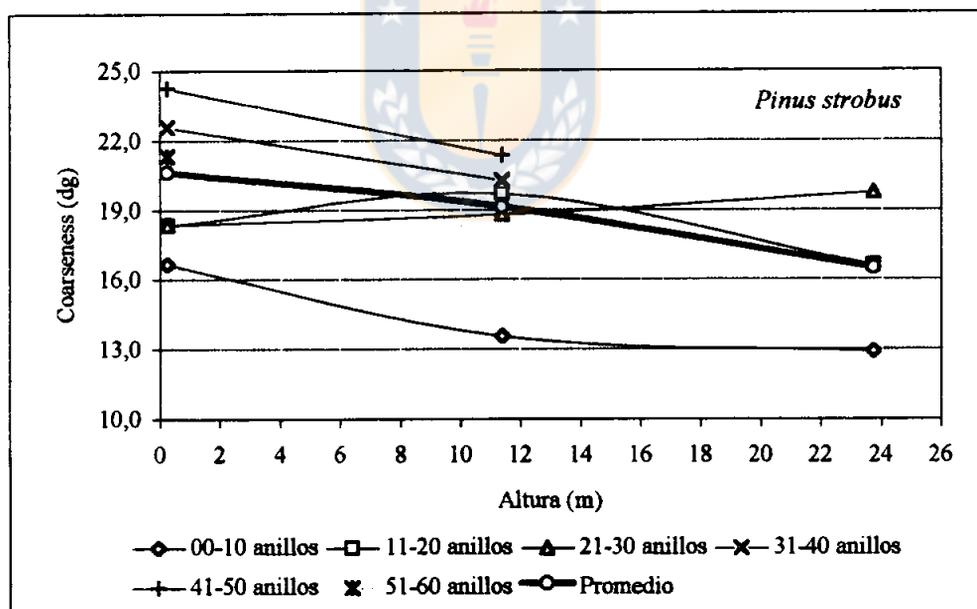


FIGURA 33. Tendencia del promedio ponderado de coarseness de madera en relación a la altura del árbol de Pinus strobus L. según sectores intraincrementales equivalentes.

Al igual que en Picea obovata Ledeb., los menores valores de coarseness se obtienen dentro de los diez primeros años y, tal como en esta especie, existe una diferencia entre la madera juvenil y adulta, presentado esta última los máximos valores en los niveles comparables.

Finalmente, cabe la mención de la notable similitud entre los valores de longitud de traqueida y coarseness de madera para la especie Picea obovata Ledeb., semejanza que ya ha sido detectada por algunas fuentes consultadas por el autor para coníferas y que aquí es posible visualizar a través de la Figura 23 y Figura 31. El patrón de variación descrito en Picea Siberiana no se cumple en las restantes especies, si bien pudiera suponerse alguna semejanza entre las variables para, al menos, algunos niveles de altura y edades fisiológicas. En efecto, para Chamaecyparis lawsoniana (A. Murray) Parlatores, mientras los valores de coarseness disminuyen hacia la copa en todo el rango de alturas, algún parecido se podría arriesgar para las edades superiores entre la base y el nivel medio de altura, lo que es posible observar en las Figuras 24 y Figura 32. Curiosamente, si cierta similitud se pudiera asignar para la especie Pinus strobus L., a diferencia de la conífera precedente, ella sería en las etapas de madera juvenil y de transición (0 a 30 anillo anual) para un curso de decremento de los valores de longitud celular y coarseness con la altura sobre el árbol (ver Figura 25 y Figura 33).

4.4.2 Tendencia del coarseness de madera en relación a la edad fisiológica del árbol. En la Tabla 9 y Figura 34 podemos reconocer la tendencia seguida por los valores promedios ponderados de coarseness de madera hacia la periferia del fuste.

En términos generales, se presenta un aumento de los valores con la edad; siendo más notable el fenómeno en el caso de Pino Blanco del Este, especie en la cual la tasa de incremento entre la zona medular (0 a 10 años) y el valor máximo (41 a 50 años) alcanza el 56,5%.

TABLA 9. PROMEDIO PONDERADO DE COARSENESS DE MADERA EN RELACION A LA EDAD FISIOLÓGICA DEL ÁRBOL (NÚMERO DE ANILLOS DESDE LA MÉDULA) SEGUN ESPECIE.

Número de anillos desde la médula	Coarseness de madera según especie (dg)		
	<i>Picea obovata</i>	<i>Chamaecyparis lawsoniana</i>	<i>Pinus strobus</i>
00-10	13,01	11,78	14,52
11-20	16,96	13,19	18,73
21-30	21,35	13,90	19,46
31-40	18,65	12,71	21,44
41-50	16,82	15,27	22,72
51-60	18,44	14,38	21,30

En *Pinus strobus* L. es notable la gran estabilidad de los valores que se presenta en la madera madura (sobre 31 años), puesto que, ya desde los 21 años, la máxima diferencia entre sectores intraincrementales no sobrepasa los 2,75 mg/100m.

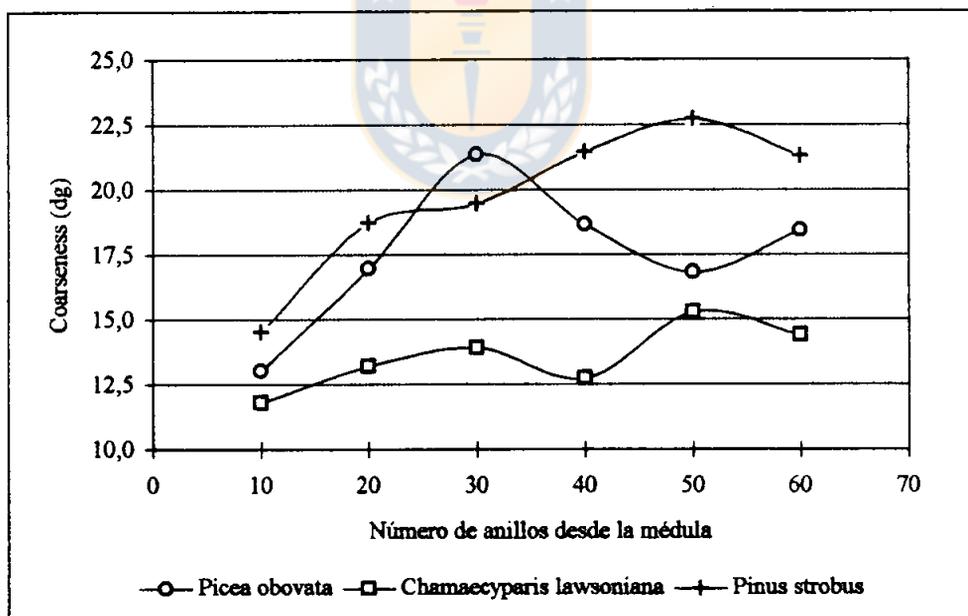


FIGURA 34. Tendencia del promedio ponderado de coarsenes de madera en relación a la edad fisiológica del árbol (número de anillos desde la médula) según ejemplar muestreado en cada especie.

Por otra parte, entre 51 y 60 años, cabe notar un leve decremento que lleva al valor de 21,30 dg el que, sin embargo, proviene tan sólo de la menor altura (0,25 m).

A diferencia de Pinus strobus L., el ejemplar perteneciente a la especie Chamaecyparis lawsoniana (A. Murray) Parlato -que también presenta cierta estabilidad en la tendencia de los valores- muestra, sin embargo, los menores índices del atributo evaluado, situación semejante a la detectada para la variación en altura. Picea obovata Ledeb., por otro lado, tiende a incrementar los valores hasta cierta edad en el árbol (64,1% entre 0 y 30 anillos) para después disminuir hacia la periferia del fuste; con un incremento final hacia el último sector anular, causado básicamente por el sector intraincremental exterior en la zona basal (18,44 dg entre 51 a 60 años).

La Figura 35, referentes a Picea Siberiana, muestra el comportamiento adoptado por los valores de coarseness en relación a la altura del árbol en tres diferentes niveles de altura.

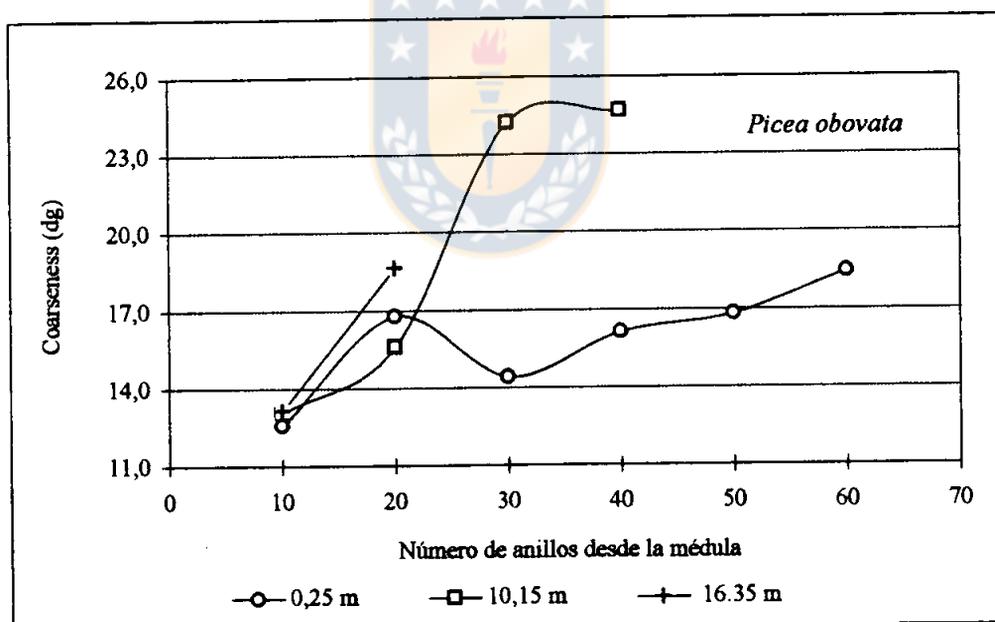


FIGURA 35. Tendencia de los valores de coarseness de madera en relación a la edad fisiológica del árbol (número de anillos desde la médula) según tres diferentes niveles de altura en el ejemplar muestreado de Picea obovata Ledeb..

La Figura 35 permite distinguir un aumento en los valores de coarseness a medida que la edad del árbol se incrementa. Tal aumento es mucho más pronunciado en las etapas de madera juvenil (y de transición para la altura intermedia) que en aquellas de madera adulta. Entre 0 y 20 años, los mayores valores de coarseness se sitúan hacia la copa y sobre esta edad, los máximos se presentan a nivel de los 10,15 m. Por otro lado, la zona basal muestra en la madera adulta más bajos valores de coarseness (ver Tabla 22A).

La Figura 36 presenta la tendencia detectada en la dirección radial del coarseness de madera de Ciprés de Lawson.

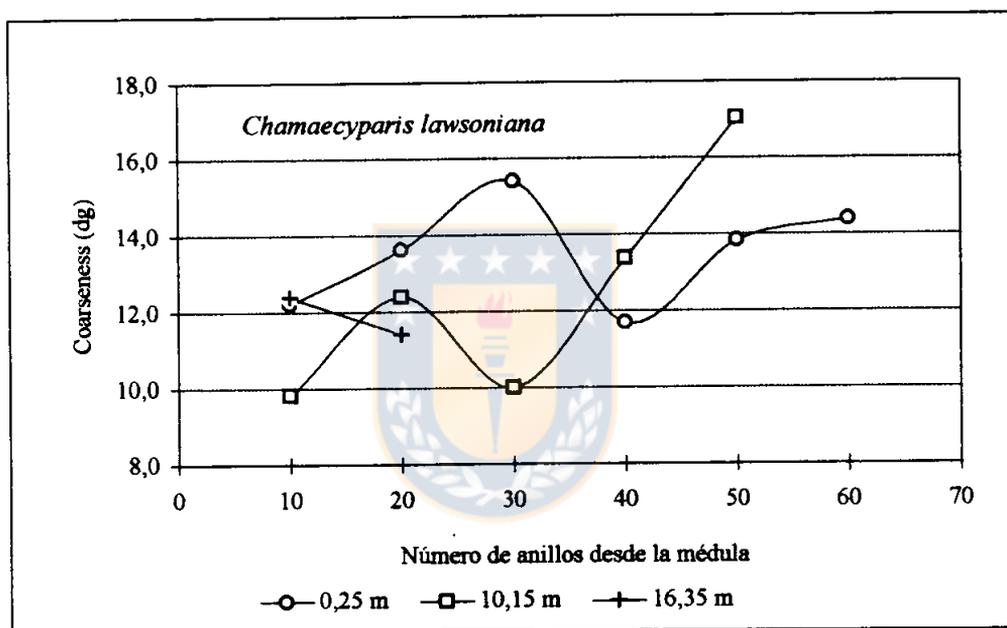


FIGURA 36. Tendencia de los valores de coarseness de madera en relación a la edad fisiológica del árbol (número de anillos desde la médula) según tres diferentes niveles de altura en el ejemplar muestreado de *Chamaecyparis lawsoniana* (A. Murray) Parlatores.

Apoyándonos en la Figura 36 podemos detectar una importante desigualdad en el comportamiento de la variable medida en el sentido del radio para cada altura, aunque en la edad juvenil (0 a 20 anillos), la zona basal y media incrementan sus valores desde la

médula, aumento que se presenta nuevamente sobre los 41 y 31 años en ambas alturas, respectivamente (ver Tabla 23A).

La Figura 37 expone la tendencia seguida por los valores de coarseness desde médula a corteza en el sentido longitudinal en el árbol.

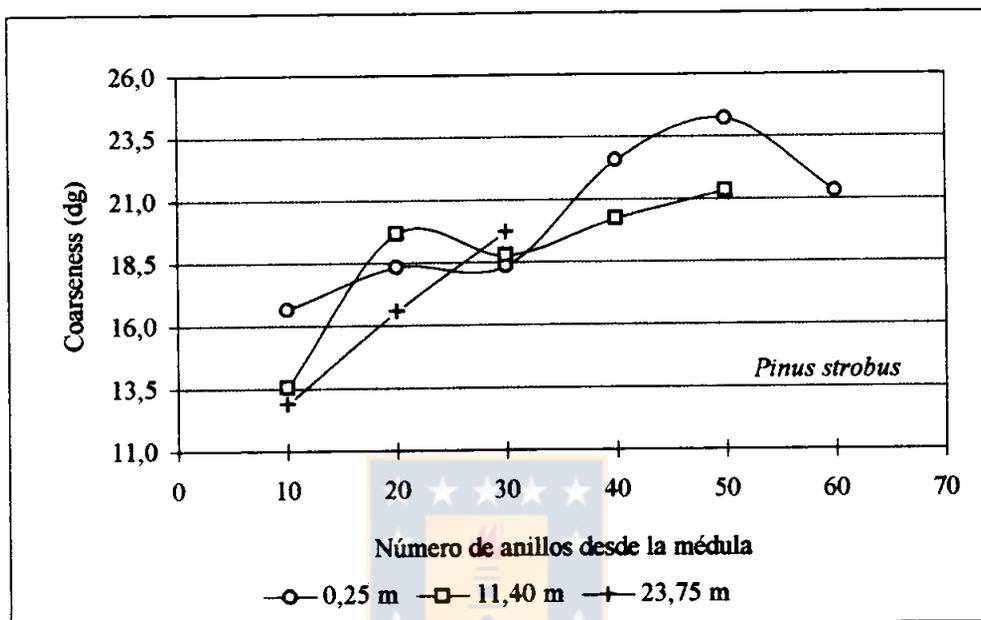


FIGURA 37. Tendencia de los valores de coarseness de madera en relación a la edad fisiológica del árbol (número de anillos desde la médula) según tres diferentes niveles de altura en el ejemplar muestreado de *Pinus strobus* L..

Observando la Figura 37, vemos que en la especie referida se detectó en todas las alturas incrementos en los valores de coarseness, con un leve descenso hacia la zona radial de transición en las alturas de 0,25 m y 11,40 m, tras lo cual se reanuda el incremento en los valores. La zona de tocón -hacia la madera madura- muestra los más altos índices de esta propiedad. Nótese el fuerte incremento que se observa para el nivel de altura mayor, margen que entre la médula y los 30 años, equivale a un 53,0% (ver Tabla 24A).

Por último, cabe destacar la notable similitud en las tendencias seguidas para los valores de coarseness y de longitud de traqueida según edad en *Picea obovata* Ledeb., fenómeno que se visualiza claramente a través de la comparación de las Figura 27 y Figura 35. Lo

anterior no se cumple en Chamaecyparis lawsoniana (A. Murray) Parlatores y Pinus strobus L., aunque en la zona basal para la primera especie nombrada se aprecia cierta similitud (que podría también definirse para Pino Blanco del Este en su máxima altura) a través de la comparación de las Figura 28 con la Figura 36 y Figura 29 con la Figura 37, respectivamente.



V CONCLUSIONES.

- 5.1 Los valores promedios ponderados de peso específico a volumen saturado se encuentran dentro del rango general definido por la literatura respecto de dicha propiedad en coníferas.
- 5.2 El peso específico depende de la posición en altura en el fuste; disminuye hacia la copa en la especie Picea obovata Ledeb. y aumenta en dicha dirección en el caso de Pinus strobus L.. En Chamaecyparis lawsoniana (A.Murray) Parlatore, en tanto, no se detectó una tendencia definida en el comportamiento de esta variable.
- 5.3 El peso específico en Picea obovata Ledeb. varía en función directa con respecto a la edad del árbol (número de anillos desde la médula). Chamaecyparis lawsoniana (A. Murray) Parlatore y Pinus strobus L., no presentaron, en cambio, una tendencia definida en el comportamiento de este atributo.
- 5.4 El valor promedio ponderado de longitud de traqueida en cada una de las especies estudiadas se encuentra dentro de los rangos informados por la literatura para especies coníferas.
- 5.5 La longitud de traqueida en las especies evaluadas aumenta desde la base del árbol hasta cierta altura en el fuste, disminuyendo progresivamente hacia las partes altas del mismo.
- 5.6 En cada una de las especies estudiadas, la longitud de traqueida incrementa con tendencia a la estabilización hacia la periferia del tronco.
- 5.7 Los promedios ponderados de coarseness de madera se encuentran dentro del rango establecido por la literatura para especies madereras.

5.8 En Picea obovata Ledeb. el coarseness aumenta desde la base del árbol hasta cierta altura en el fuste, tras lo cual su magnitud decrece hacia la copa. En Chamaecyparis lawsoniana (A. Murray) Parlatore y Pinus strobus L., en tanto, éste desciende con el incremento de la altura en el árbol.

5.9 El coarseness aumenta con el número de anillos desde la médula en las tres coníferas evaluadas.

5.10 Se observó una notable similitud en el comportamiento adoptado por los valores de longitud de traqueida y coarseness de madera, tanto en altura como en edad, en la especie Picea obovata Ledeb..



VI. RESUMEN Y SUMMARY.

6.1 Resumen.

Se realizó la caracterización biométrica de las especies Picea obovata Ledeb., Chamaecyparis lawsoniana (A. Murray) Parlatores y Pinus strobus L. en base a la determinación de Peso específico a volumen saturado, Longitud de traqueida y Coarseness de madera.

Los valores obtenidos, correspondientes a promedios ponderados en función del volumen de sectores intraincrementales de diez anillos tomados en el sentido radial desde médula a corteza y a diferentes alturas en el fuste, se encuentran dentro del rango propio de las especies coníferas; si bien para peso específico y longitud de traqueida, los valores detectados están por bajo aquellos reportados por la literatura para las mismas especies. En efecto, Picea obovata Ledeb. y Chamaecyparis lawsoniana (A. Murray) Parlatores, muestran para la primera propiedad los valores más elevados; correspondiendo a 0,363 y 0,360, respectivamente; en tanto, Pinus strobus L., alcanza un promedio ponderado equivalente a 0,297. Por otra parte, en relación a la longitud de traqueida, los valores para las diferentes especies son semejantes y próximos a los 2,5 mm. Finalmente, en lo que respecta al coarseness de madera, tanto Picea obovata Ledeb. como Pinus strobus L., presentan los promedios más elevados, los que alcanzan los 17,64 dg y 17,98 dg, respectivamente; valores que son notablemente superiores al determinado en Chamaecyparis lawsoniana (A. Murray) Parlatores, especie que no sobrepasa los 12,00 dg como valor medio ponderado.

6.2 Summary.

Specific gravity, fiber length and coarseness have been measured from Picea obovata Ledeb., Chamaecyparis lawsoniana (A. Murray) Parlatores and Pinus strobus L., 60 years old, grown in Malleco Forestal Park, Chile.

Average values of fiber length are around 2,5 mm for the three species, which are below those reported by literature. Specific gravity ranged within 0,30 and 0,36 for these species, whereas coarseness was 17-18 dg for Picea obovata Ledeb. and Pinus strobus L., and less than 12 dg for Chamaecyparis lawsoniana (A. Murray) Parlatores.

Variation of these properties with tree height and radial in the trunk are also reported.



VI BIBLIOGRAFIA.

- Balocchi, G. y R. Delmastro, 1993. Principios de Genética Forestal. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales.
- Blair, R.L., B.J. Zobel, E.C. Franklin, A.C. Djerf and J.M. Mendel, 1974. The Efectct of Tree and Rust Infection on Wood and Pulp Properties of Loblolly Pine. Tappi, 57 (7): 46-50.
- Blair, R.L., B.J. Zobel and J.A. Barker, 1975. Predictions of Gain in Pulp Yield and Tear Strength in Young Loblolly Pine Through Genetic Increases in Wood Density, Tappi, 58(1): 89-91.
- Brady, C., A. Berzins and J. d'A. Clark, 1956. A Rapid Simplified Method of Determining the Coarseness of Pulp. Tappi, 39(1): 40-3.
- Britt, K., 1966. Fiber Coarseness in Wood. Tappi, 49(5): 202-6.
- Brun, R., 1965. Influencia del Crecimiento en la estructura de la madera de Pino Oregon. Instituto Forestal. Informe Técnico N^o 21: 20-55.
- Brown, H.P., A.J. Panshin and C.C. Forsaith, 1949. Textbook of Wood Technology, Volume I. Structure, Identification, Defects, and Uses of the Commercial Woods of the United States. Mc Graw-Hill Book Company, Inc. New York, USA.
- Bunster, J., 1980. Determinación de algunas propiedades físicas en madera de Renovales (Nothofagus obliqua (Mirb.) Oerst y Nothofagus alpina (Poepp. et Endl.) Oerst. Tesis de Ing. For., Departamento de Ciencia y Tecnología de la madera, Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Chile, Santiago de Chile.
- Burdon, R. and J. Harris, 1973. Wood Density in Radiata Pine Clones on Four different Sites. N.Z.J.For.Sci., 3(3):286-303.
- Bustamante, L. y J. Serfaty, 1970. Atlas de Fibra para Pasta de Celulosa. II Parte, Volumen Primero. Ministerio de Agricultura, Madrid, España.
- Carter, J., 1983. Características tecnológicas del Pino Oregon (Pseudotsuga menziessii) crecido en la X Región. Tesis de Ing. For., Universidad Austral de Chile.
- Casey, J., 1960. Papermaking. Vol. 2. Pulp and Paper Chemistry and Chemical Technology, Second Edition. Interscience Publishers, Inc. New York. USA.

- Casey, J., 1966. *Pulping and Bleaching*. Vol. 1. *Pulp and Paper Chemistry and Chemical Technology*, Second Edition. Interscience Publishers, Inc. New York. USA.
- Celis, N. y C. Fernández, 1987. Efecto de la densidad de la madera en la aptitud pulpable de Pino Radiata, III Jornadas Técnicas de Celulosa y Papel, Asociación Técnica de Celulosa y Papel (A.T.C.P.-Chile), Concepción, Chile.
- Chesney, L., 1970. Aptitud papelera del Canelo (*Drimys winteri* Forst.). Tesis de Ing. For., Departamento de Tecnología de la madera. Facultad de Agronomía, Escuela de Ingeniería Forestal, Universidad de Chile, Santiago de Chile.
- Chile. Corporación Nacional Forestal (CONAF)-Instituto Forestal (INFOR), 1994. Exportaciones Forestales Chilenas (Enero-Diciembre de 1993). Boletín Estadístico N^o 33. Santiago de Chile.
- Chile. Corporación Nacional Forestal (CONAF), 1994. "Diversificando Chile". Revista Chile Forestal N^o 16: 28-9.
- _____, 1975. Plan de Manejo para la Reserva Forestal de Malleco. Dirección Regional, Oficina de Programación XI Zona CONAF. IX Región.
- _____, 1991. Bases Licitación "Estudios Básicos sobre Volumetría, Crecimiento y Taxonomía en Rodales de Coníferas Exóticas en Sector Los Guindos-Reserva Forestal de Malleco". Dirección Regional, IX Región.
- Cerda, A., 1993. Manual de Economía Ambiental y de Recursos Naturales. Fac. de Ciencias Econ. y Admón., Depto. de Economía. Universidad de Concepción, Chile.
- Clark, J. d'A., 1962. "Weight Average Fiber Lengths-A Quick Visual Methods. Tappi 45(1): 38-45.
- Cown, D.J., 1973. Effects of Severe Thinning and Pruning Treatment on the Intrinsic Wood Properties on Young Radiata Pine. N.Z. J. For. Sci., 3(3): 379-89.
- _____, 1974 a. Comparison of the Effects of Two Thinning Regimes on Some Wood Properties of Radiata Pine. N.Z. J. For. Sci., 4(3): 540-51.
- _____, 1974 b. Physical Properties in Corsican Pine Grown in New Zealand. N.Z. J. For. Sci., 4(1): 76-93.
- _____, 1974 c. Wood Density of Radiata Pine: its Variation and Manipulation. N.Z. J. For. Sci., 19(1): 84-92.

- _____, 1975. Variation in Tracheid Dimensions in the Stem of 26-Year-Old Radiata Pine Tree. *Appita*, 28(4): 235-45.
- Cromer, R.N., and N.W. Hansen, 1972. Growth, Nutrient Uptake and Pulping Characteristics of Young Eucalyptus globulus. *Appita*, 26(3): 187-90.
- Dadswell, H.E., J.M. Fielding, J.W. Nicholls and A.G. Brown, 1961. Tree-to-Tree Variations and the Gross Heritability of Wood Characteristics of Pinus radiata. *Tappi*, 44(3):174-9.
- Daniel, P., V. Helms y F. Baker, 1982. Principios de Silvicultura. Traducido de la Segunda Edición Inglesa por Ramón Elizondo Mata. Mc Graw-Hill. México, D.F..
- Delmastro, R., J. Díaz-Vaz y E. Schlatter, E., 1980. Variabilidad de las Características Tecnológicas Hereditarias del Pinus radiata D.Don. Revisión Bibliográfica. Proyecto CONAF/PNUD/FAO/CHI/76/003C, Documento de Trabajo N^o 34.
- Díaz-Vaz, J. y F. Ojeda, 1980. Densidad intraincremental en Pseudotsuga menziesii. I Variaciones en un análisis fustal. *Bosque*, 3(2):86-95.
- Díaz.Vaz, J., 1981. Delimitación de madera temprana-tardía, juvenil-madura en Pino Oregón. *Bosque*, 4(1):55-58.
- Dinwoodie, J.M., 1961. "Tracheid and Fiber Length in timber, a Review of Literature", *J. Forestry* XXXIV.
- Einspahr, D.W., 1964. Correlations Between Fiber Dimensions and Fiber and Handsheet Strength Properties. *Tappi*, 47(4): 180-3.
- Elgueta, H., S. Calderón y H. Contreras, 1971. Establecimiento de Parcelas Experimentales de Introducción de Especies Exóticas y Autóctonas de Interés Económico. Instituto Forestal, Serie de Investigación N^o 4. Santiago de Chile.
- Fernández-Golfin, J.I. y M.R. Diez, 1994. Influencia de la anchura del anillo de crecimiento en la densidad y otras propiedades físico-mecánicas de la madera estructural de diversas especies. *Revista Investigación Agraria, Sistema y Recursos Forestales* 3(2):211-19. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid.
- Fuentealba, J., 1985. Variación de la relación Peso/Longitud de Traqueidas en Pino Insigne. Tesis de Ing. Ejec. en maderas. Universidad del Bío-Bío, Departamento de Industrias Forestales. Concepción, Chile.

- García, J.J., 1951. Contenido de Humedad en Arboles Vivos. Publicación Técnico N^o 14. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Buenos Aires, Argentina.
- Goddard, R.E. and R.K.Strickland, 1962. Geographic Variation in Wood Specific Gravity of Slash Pine. *Tappi*, 45(7): 606-8.
- Goggans, J., 1964. Correlation and Heritability of Certain Wood Properties in Loblolly Pine (*Pinus taeda* L.). *Tappi*, 47(6): 319-22.
- González, D., 1987. Efecto de la intensidad de raleo sobre la densidad aparente de la madera de *Pinus radiata* D.Don. Tesis Ing. For.. Concepción, Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales.
- González, J. y J. Molina, 1989. Consideraciones sobre los tratamientos silviculturales y los rendimientos cuantitativos y cualitativos en madera pulpable de Pino Radiata. Documento Técnico N^o 38, Revista Chile Forestal. Corporación Nacional Forestal, Santiago de Chile.
- Greehill, A., 1984. Variación del Peso Específico en Arboles Plus de *Pinus radiata* D. Don. Tesis de Ing. For. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales, Instituto de Silvicultura. Valdivia, Chile.
- Gysling, J., 1982. Influencia del Peso Específico en la Rotación Económica de plantaciones de *Pinus radiata* D.Don para producción de Pasta y Papel. Tesis de Ing. For. Universidad de Chile, Escuela de Ciencias Forestales. Santiago de Chile.
- Hamilton, J.R. and J.B. Harris, 1965. Influence of Site on Specific Gravity and Dimensions of Tracheids in Clones of *Pinus elliottii* Engelm. and *Pinus taeda* L.. *Tappi*, 48(6): 330-3.
- Higgs, M.L. and P. Rudman, 1973. The Effects of Fertilizing and Thinning on Wood Properties of *Eucalyptus regnans*. *Appita*, 27(1): 51-5.
- Higgins, H.G.,1973. Seminario sobre pulpas semiquímicas. Laboratorio de Productos Forestales. Escuela de Ingeniería, Universidad de Concepción.
- Hunter, A.G. and J.F. Goggans,1969. Variation of Fiber of Sweetgum in Alabama. *Tappi*, 52(10): 1952-4.
- Jenkis, P.A., H. Hellmers, E.A., Edge, D.A. Rook and R.D.Burdon. 1977. Influence of Photoperiod on Growth and Wood Formation of *Pinus radiata*. *N.Z.J.For.Sci.*, 7(2): 172-91.

- Julio, G., 1962. Variaciones del Peso Específico y Largo de Fibras en el Género Populus. Tesis de Ing. For. Universidad de Chile, Escuela de Ingeniería Forestal. Santiago de Chile.
- _____, 1965. Variaciones del Largo de Fibras y Peso Específico en Alamo. En: Actas de la Reunión Sobre Investigaciones en Productos Forestales. Instituto Forestal, Informe Técnico N^o 21: 40-4. Santiago de Chile.
- Jurbergs, K.A., 1968. Transverse Dimensions of Slash Pine Tracheids. Tappi, 51(9): 389-94.
- Kärenlampi, P., 1992a. Spruce pulpwood quality paramters. Paperi Ja Puu. Paper and Timber, 74(10): 807-812.
- Kärenlampi, P., 1992b. Spruce wood fiber properties and mechanical pulps. Paperi Ja Puu. Paper and Timber, 74(8): 650-664.
- Kennedy, R.W., 1966. Intra-Increment Variation and Heritability of Specific Gravity, Parallel-to-Grain Tensile Strength, Stiffness, and Tracheid Length, in Clonal Norway Spruce. Tappi, 49(7): 292-6.
- Larson, P.R., 1962. A Biological Approach to Wood Quality. Tappi, 45(6): 443-8.
- Martin, G., 1965. Físico-Química del Papel. Traducción de Ricardo Casals. Publicaciones Offset, Barcelona.
- Martínez, O., 1979. Coníferas de Importancia Forestal. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ingeniería Forestal. Publicación Docente N^o 2.
- Martínez, F. y L. Pacheco, 1990. Una visión de la pulpa kraft de Pino Radiata Chileno. Caracterización, Ventajas comparativas y Potencialidades. Asociación Técnica de Celulosa y Papel (ATCP). Revista Celulosa y Papel 6(3): 6-14. Chile.
- Melo, R. y J. Paz, 1980. Texto Básico sobre Celulosa y Papel. Compendio. Volumen II. Proceso de Pulpaje y Tratamiento de la Pulpa.
- _____, 1995. Tecnología de la Celulosa y el Papel. Física y Química de la madera. Volumen I. Facultad de Ingeniería, Departamento de Ing. Química, Laboratorio de Productos Forestales, Proyectos de Desarrollo de Docencia. Universidad de Concepción. Chile
- Melo, R., J. Paz, V. Carrasco y N. Bello, 1988. Interrelaciones entre las propiedades de una celulosa kraft y la materia prima usada para su fabricación. Asociación